

April 20-24, 1998 / 20-24 de abril de 1998  
Cartagena, Colombia

**GLOBE**  
SAR

G  
70.39  
G48  
1998

OMGRE



© CSA/ASC, 1997

Tolima, Guamo, Colombia

**GlobeSAR 2 Mid-Term Symposium:**  
*“RADARSAT Applications in Latin America”*  
**Primer Simposio GlobeSAR 2:**  
*“Las aplicaciones de RADARSAT en América Latina”*



This document was produced  
by scanning the original publication.

Ce document est le produit d'une  
numérisation par balayage  
de la publication originale.





Dear Reader,

The GlobeSAR 2 Mid-Term International Symposium was held in Cartagena, Colombia, April 20-24, 1998 hosted by the Canada Centre for Remote Sensing (CCRS) and the Instituto Geografico Agustin Codazzi (IGAC). GlobeSAR 2 is a program involving 11 countries in Latin America with the objectives of:

- Improving resource management capabilities using remote sensing technology
- Enhancing the 'in-country' capacity to use radar imagery, in particular RADARSAT, for improved resource management
- Strengthening linkages between Latin American and Canadian universities and industry

The participating countries in the program are:

*Argentina*  
*Bolivia*  
*Brazil*  
*Chile*  
*Colombia*  
*Costa Rica*

*Honduras*  
*Panama*  
*Peru*  
*Uruguay*  
*Venezuela*

Since its start in January 1997, the GlobeSAR 2 Program has:

- acquired over 150 RADARSAT images for investigators across Latin America
- delivered over 40 workshops and seminars on radar technology, image processing and natural resource applications
- distributed over 100 image processing software licenses for the analysis of RADARSAT and other remote sensing data

This symposium was the mid-term milestone in the GlobeSAR 2 program, and the first opportunity for participants to share exciting results from their RADARSAT applications demonstration projects with their Latin American colleagues. There were 120 participants representing 12 countries, including more than a dozen representatives from Canadian geomatics companies. The program included technical presentations by Latin American GlobeSAR investigators, technical workshops, and a special session on the



high-resolution and multi-polarization capabilities of RADARSAT-2 led by MacDonald Dettwiler (MDA). In addition, a *Canadian Industrial Forum* provided an opportunity for all participants to hear about the latest RADARSAT-related products and services available from industry. The companies that participated in the Industrial Forum were:

*Array Systems*

*Atlantis Scientific*

*Dendron Resource Surveys*

*Image Exploitation Services (IES)*

*Infotierra*

*MacDonald Dettwiler (MDA)*

*MIR Télédétection*

*Noetix Research*

*PCI Geomatics*

*Radarsat International/CIC Geomatica*

The high quality of the papers in this *Proceedings* is evidence that the first year of the GlobeSAR 2 program has been very successful in developing a body of Latin American expertise in radar and RADARSAT applications. Congratulations to all GlobeSAR participants for their excellent work!

GlobeSAR 2 is made possible by a partnership of organizations, all of whom have contributed to the success of the program so far. For this Mid-term Symposium, I extend a warm thank you to the host agency, the Instituto Geográfico Agustín Codazzi, and in particular Sra. Fannery Valencia, for their invaluable assistance in the organization of the meeting. The sponsors of this symposium were:

- **Canadian International Development Agency (CIDA)**
- **International Development Research Centre (IDRC)**
- **Canada Centre for Remote Sensing, Natural Resources Canada**
- **Radarsat International**
- **PCI Enterprises**
- **Atlantis Scientific**
- **Instituto Geográfico Agustín Codazzi**

Thank you to all participants for a very successful symposium!



Michael Manore  
GlobeSAR 2 Project Manger  
Canada Centre for Remote Sensing



# Table of Contents

## SESSION – HYDROLOGY 1

*Chair: Carlos Pattillo B. Programa de Percepcion Remota & SIG, Univerisidad Catolica de Chile, Chile*

### **IMÁGENES RADAR APLICADAS A ÁREAS INUNDADAS EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES.**

Aguglino R., Torrusio S., Bozzarello E., Calvanese G, Dirección de Aplicación de Imágenes Satelitarias, Argentina .....1

### **DETERMINACIÓN DE AREAS INUNDADAS EN LA REGION METROPOLITANA DE CHILE**

Marión Espinosa Toro, Centro de Información de Recursos Naturales de Chile (CIREN – CORFO); Roberto Castro Rios, Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile .....8

### **UTILIZACION DE IMÁGENES DE SATELITES (RADARSAT), PARA FINES DE EVALUACION COSTERA. CASO PUNTA COLES-ILO**

Carlos Alvarado Mendoza, Direccion de Hidrografia y Navegacion de la Marina de Guerra del Perú, Dpto. De Medio Ambiente, Peru ..... 14

### **APLICACIONES DE IMAGENES RADARSAT EN EL ESTUDIO DE COBERTURA NIVAL Y PRONOSTICOS DE CAUDALES**

Martín Farías, Universidad Católica de Chile; Verónica Pozo y Fernando Escobar, Ministerio de Obras Públicas, Chile .....22

### **ENHANCEMENTS AND APPLICATIONS OF RADARSAT SATELLITE IMAGES**

Mirta A. Raed, Univ. Nacional de Luján; Jorge M. Gari, Javier Yebrin, Univ. Tecnológica Nacional; Julio Jacobo Berlles, Alicia Sedeño, Univ. Nacional de Buenos Aires; Luciano Delise, Eduardo Vicini, Luis Sanchez, Buenos Aires, Argentina .....30

## SESSION – GEOLOGY 1

*Chair: Waldir Paradella, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Brazil*

### **PRELIMINARY EVALUATION OF RADARSAT FINE MODE IMAGERY TO MAP LINEAR FEATURES IN AN AREA OF HYDROCARBON MICROSEEPAGE, TUCANO BASIN, BRAZIL**

Raimundo Almeida Filho, National Institute for Space Research-INPE; Fernando P. de Miranda, Petrobras/CENPES, Brazil .....38



<b>UTILIZACION DE LAS IMÁGENES DE RADARSAT Y LANDSAT TM EN LA CARTOGRAFIA GEOLOGICA Y GEOMORFOLOGICA DE LA REGION ANDINA DE COLOMBIA</b> Domingo Mendivelso López, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Colombia .....	44
<b>APLICACION DE LAS IMAGENES DE RADAR ESTUDIO GEOLOGICO Y GEOMORFOLOGICO DE LA CUENCA BAJA DEL RIO BAYANO</b> Sebastian Sanchez, Universidad de Panama, Panama .....	55
<b>ANÁLISIS GEOLÓGICO-ESTRUCTURAL DEL SECTOR NORTE DEL LAGO FONTANA (CORDILLERA PATAGÓNICA, ARGENTINA). INTERPRETACIÓN DE LAS IMÁGENES ASCENDENTE Y DESCENDENTE DE RADARSAT/SAR</b> Daniela S. Marchionni, INREMI (U.N.L.P. – C.I.C.); Mabel E. Lanfranchini, INREMI (U.N.L.P.), Argentina .....	57

### SESSION – FORESTRY 1

*Chair: Melvin H. Duron, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras*

<b>FOREST TYPE DISCRIMINATION BY COMBINING RADARSAT FINE MODE AND LANDSAT TM DATA</b> Gabriel Carballo, Universidad de la República Julio Herrera y Reissig 565, Uruguay .....	65
<b>RELEVAMIENTO DE LA VEGETACION NATURAL DE LA CUENCA DEL RIO DORADO, PROVINCIA DE SALTA, ARGENTINA</b> Ing. Agr. Celina Montenegro, Dirección de Recursos Forestales Nativos; Lic. Priscilla Minotti, Sistema de Información Ambiental Nacional, Argentina .....	66
<b>SEGUIMIENTO DE LAS CUBIERTAS FORESTALES DE TIERRA DEL FUEGO MEDIANTE IMÁGENES DE RADARSAT</b> Roberto Castro Ríos, Pontificia Universidad Católica de Chile; Marión Espinosa Toro, Centro de Información de Recursos Naturales de Chile (CIREN – CORFO), Chile .....	71
<b>INTERPRETACIÓN DE BOSQUES SECOS Y HÚMEDOS DEL PERU A PARTIR DE IMÁGENES RADARSAT</b> Luis Espinel, Víctor Barrera, Carlos Garnica, Rocío Malleux, Fac. De Ciencias Forestales – Univ. Nacional Agraria La Molina, Perú .....	79
<b>UTILIZACION DE RADARSAT 1 EN EL ESTUDIO DE LOS RELICTOS DE SELVA EN LA ZONA CAFETERA CENTRAL DE COLOMBIA</b> Jaime Eduardo Jaramillo Echeverri, Gustavo Adolfo Ochoa Villegas, Centro Regional de Estudios Cafeteros y Empresariales – CRECE, Colombia .....	89



## SESSION – LAND COVER 1

*Chair: Fanery Valencia, Subdirectora de Cartografía, Instituto, Augustin (IGAC), Colombia*

### **IDENTIFICACIÓN DE “SABANAS NATIVAS” EN LOS LLANOS COLOMBIANOS MEDIANTE IMÁGENES RADARSAT MULTI-ESTACIONALES: RESULTADOS PRELIMINARES.**

Nathalie Beaulieu, Patrick Hill, Germán Escobar y Tomás Romero, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Colombia .....97

### **ACTUALIZACIÓN DEL MAPA DEL USO DE LA TIERRA DE LA REGIÓN DE LOS MANGLARES DE TUMBES – PERÚ USANDO IMÁGENES RADARSAT**

Patricia Huerta Sanchez, Víctor Barrena Arroyo, Univ. Nacional Agraria – La Molina, Peru; Vern Singhroy, Canada Centre for Remote Sensing, Canada .....106

### **REMOTE SENSING TECHNOLOGIES APPLIED TO THE STUDY OF THE LAND USE AND LAND COVER IN THE IRRIGATED REGIONS OF THE CULTIVATED VALLEYS IN THE CENTRAL-WESTERN REGION OF ARGENTINA. MONITORING OF THE SOIL DEGRADATION PROCESSES - SALINITY AND HYDRIC EROSION**

Graciela Salinas de Salmuni, University of San Juan; Guillermo Ibañez CONAE (Spatial National Commission), Argentina (Abstract).....114  
Full paper .....404

### **PROYECTO USO DE RADARSAT PARA LA GESTION DE LOS RECURSOS NATURALES: GLOBE SAR-2 PANAMA**

Xenia Rios De Castillo, Ministerio de Comercio e Industrias, Panama .....118

## SESSION – OCEANS 1

*Chair: Yolanda Rubiano Sanabria Agróloga Profesional Universitario Subdirección de Agrología IGAC, Colombia*

### **APLICACIÓN DE IMÁGENES RADARSAT EN ESTUDIOS DE PROCESOS OCEANICOS Y DISTRIBUCIÓN DE RECURSOS PELÁGICOS**

M. A. Barbieri, Instituto de Fomento Pesquero, Universidad Católica de Valparaíso;  
C. Silva, Universidad Católica de Valparaíso; M. Farías, Pontificia Universidad Católica;  
K. NIETO Y E. YÁÑEZ, UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO, CHILE .....121

### **CONTRIBUCION DE IMAGENES RADARSAT DE BAJA RESOLUCION EN EL ESTUDIO DE LA DINAMICA OCEANICA EN LA REGION DE LA CONVERGENCIA SUBTROPICAL**

Domingo A. Gagliardini, CONICET, CONAE; Laura A. Frulla, Jorge Milovich,  
CONICET; Mónica Rabolli, CONAE, Argentina .....129



**USE OF RADARSAT DATA TO MONITOR OCEAN FEATURES IN THE VICTORIA-TRINDADE SEAMOUNT CHAIN REGION: A FEASIBILITY STUDY**

João A Lorenzzetti, Carlos E.S. Araujo, Brazilian Space Research Institute-INPE, Brazil .....138

**SESSION – AGRICULTURE 1**

*Chair: Gabriel Carballo, Centro de Calculo, Facultad de Ingenieria, Uruguay*

**IDENTIFICACIÓN DE CULTIVOS BAJO RIEGO Y DE SECANO CON IMÁGENES RADARSAT-1**

Uriel Pérez, Cristina Salvatierra, Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Colombia .....146

**APLICACIÓN DE IMÁGENES RADARSAT PARA LA EVALUACIÓN Y MONITOREO DE RECURSOS AGRÍCOLAS Y ÁREAS INUNDADAS**

Lombardo, P. Lusarreta, Direccion de Planeamiento; M. Presutti, Direccion de Desarrollo Forestal; Ministerio de Asuntos Agrarios de la Provincia de Buenos Aires, Argentina .....155

**ANALYSIS OF MULTITEMPORAL RADARSAT DATA FOR AGRICULTURE MONITORING**

J. C. N. Epiphonio; M. S. Simões; A. R. Formaggio, National Institute for Space Research (INPE), Brazil .....163

**SESSION – HYDROLOGY 2**

*Chair: Víctor Barrena Arroyo, Univ. Nacional Agraria – La Molina, Peru;*

**FLOOD EXTENT MAPPING WITH RADARSAT DATA, A STUDY CASE IN NORTHEASTERN ARGENTINA**

M. Giraut, S. Ludueña, Direccion Nacional de Gestión de los Recursos Hidricos MEyOSP; R. Aguglino, Direccion de Aplicación de Imágenes Satelitarias – MOSP, Argentina .....168

**ZONAS DE RIESGO DE INUNDACIÓN ENTRE SANTIAGO Y RANCAGUA, CHILE**

Ana María Bustamante Valdés, José Luis Gómez Avendaño, Centro de Informacion de Recursos Naturales – CIREN , Chile .....176

**MONITOREO DE CARACTERISTICAS AGROHIDROLOGICAS DE  
RELIEVE Y SUELO (Fase 1)**  
Héctor A. Salgado, Facultad de Agronomía UBA, Argentina .....183

**ACTIVIDADES DEL PROYECTO GLOBESAR EN COSTA RICA**  
Carlos L. Elizondo, Luis B. Zamora, Instituto Geográfico Nacional, Costa Rica .....186

**APLICACION DE LA TECNICA RADAR EN LOS PROCESOS  
HIDRODINAMICOS DE SEDIMENTACION EN EL SISTEMA LAGUNAR  
CANO NEGRO**  
Lic. Francisco Javier Solano Mata, Ing. Sergio Feoli Boraschi,  
Universidad de Costa Rica .....188

### SESSION – GEOLOGY 2

*Chair: Xenia Rios de Castillo, Ministerio de Comercio e Industria Panama*

**MAPEO COSTERO ENTRE LIMA Y PISCO MEDIANTE DATOS RADARSAT**  
R. Coloma, A. Valverde, Comision Nacional de Investigacion y Desarrollo Aeroespacial –  
CONIDA, Peru; .....190

**LINEAMENTS INTERPRETATION USING RADARSAT IMAGES TO  
PROVIDE INFORMATION ABOUT GEOLOGIC STRUCTURES**  
Paulo Roberto Meneses, Adriana Chatack Carmelo, Universidade de Brasilia – Instituto  
de Geociências, Brasil .....191

**DISCRIMINACIÓN DE LA COBERTURA DEL SUELO Y LOCALIZACIÓN  
DE LA EROSIÓN Y FALLAS USANDO IMÁGENES RADAR Y LANDSAT  
EN LA CUENCA DEL RIO TÉRRABA, COSTA RICA**  
Javier Saborio Bejarano, Instituto Geografico Nacional, Costa Rica .....197

**EL VULCANISMO CENOZOICO DE LA PUNA AUSTRAL (ARGENTINA)  
Y SU POTENCIAL MINERO**  
Zappettini, E; Martinez, H; Alsina, N., Servicio Geologico Minero de Argentina –  
SEGEMAR, Argentina .....199



## SESSION – FORESTRY 2

*Chair: Robert Landry, Canada Centre for Remote Sensing (CCRS), Canada*

**ANÁLISIS DE IMÁGENES SAR/RADARSAT DEL BAJO DELTA DEL RÍO PARANÁ, ARGENTINA. PARTE I: SELECCIÓN Y VERIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE PRE-PROCESAMIENTO Y PROCESAMIENTO**  
Jorge A. Milovich, Laura A. Frulla, Haydee Karszenbaum, Consejo Nacional de Actividades científicas y Técnicas (CONICET); Patricia Kandus, Universidad de Buenos Aires (UBA), Argentina. ....201

**IMÁGENES SAR/RADARSAT GLOBESAR 2 DEL BAJO DELTA DEL RÍO PARANÁ, ARGENTINA. PARTE II: CARACTERÍSTICAS DE LA SEÑAL RETRODISPERSADA**  
P. Kandus, Universidad de Buenos Aires; H. Karszenbaum, L. Frulla y J. Milovich, CONICET, Argentina .....210

**ANÁLISIS DE DATOS DE RADARSAT PARA EVALUAR EL MEDIO AMBIENTE DEL BOSQUE HÚMEDO TROPICAL DEL DARIEN-COLOMBIA**  
Hernando Melo, Elena Possada, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Colombia .....218

**UTILIZAÇÃO DE DADOS SAR PARA MAPEAMENTO DE INUNDAÇÃO E VEGETAÇÃO NO PANTANAL BRASILEIRO – RESULTADOS PRELIMINARES**  
João dos Santos Vila da Silva, Carlos Roberto Padovani EMBRAPA – CPAPantanal, Brasil; Myrian de Moura Abdon, INPE –DSR, Brasil; Ron W. Pietsch, Canada Centre for Remote Sensing, Canada .....226

## SESSION – LAND COVER 2

*Chair: Ramiro Salcedo, Centro de Procesamiento Digital de Imagenes (CPDI), Venezuela*

**APLICACIÓN DE IMÁGENES DE RADAR EN LA DETECCIÓN DEL USO Y COBERTURA DEL SUELO PARA LA PROVINCIA DE HERRERA. ESCALA 1:100,000**  
Daisy de Sanchez, Instituto Geográfico Nacional “Tommy Guardia” M.O.P. Transistmica, Panama .....235

**EVALUACION DE LA UTILIDAD DE LAS IMÁGENES RADARSAT EN LA EXTRACCION DE INFORMACION DEL ESPACIO BIOFISICO**  
Yolanda Rubiano S., Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Colombia .....238

<b>APORTE DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE LAS IMÁGENES RADARSAT PARA CARTOGRAFÍA DE COBERTURA DELSUELO DEL AMBIENTE TROPICAL GOLFO DE URABÁ – COLOMBIA</b> Elena Possada, Hernando Melo, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, CIAF, Colombia .....	243
---	-----

<b>ANÁLISIS URBANO Y AGRÍCOLA CON IMÁGENES RADARSAT DE RESOLUCIÓN FINA (F1-BEAM) (ZONA DE INVESTIGACIÓN CIUDAD DE ROSARIO Y GRAN ROSARIO-ARGENTINA)</b> Carlos Cotlier, A. Ravenna, M.F. Huisman, C. Mondino, Universidad Nacional de Rosario, Argentina .....	251
--	-----

<b>ANALISIS DE IMAGENES RADARSAT PARA LA OBTENCION DE INFORMACION A UTILIZAR EN EVALUACION DE TIERRAS</b> Fernando Pino Silva, Universidad de Chile; Roberto Richardson V., Universidad de Santiago de Chile, Chile .....	259
---	-----

**SESSION – OCEANS/ICE 2**

*Chair: Christine Hutton, Canada Centre for Remote Sensing (CCRS), Canada*

<b>STUDY OF BATHYMETRIC AND OCEANOGRAPHIC FEATURES IN THE SOUTHERN BRAZIL COASTAL ZONE THROUGH RADARSAT IMAGES</b> Carlos Alberto Eiras Garcia, Glauber Acunha Gonçalves, Osmar Olinto Möller Jr., Universidade do Rio Grande (FURG), Brasil .....	271
--	-----

<b>CLASIFICACION DE LA COBERTURA DE HIELO MARINO A LA DERIVA EN EL SECTOR NOROESTE DEL MAR DE WEDDELL, ANTARTICA, ENERO 1998</b> Ricardo Jaña, Instituto Antártico Chileno; Jonny Pieringer, Servicio Hidrográfico Y Oceanográfico de la Armada, Chile .....	272
--	-----

<b>MONITOREO DE HIELO FLOTANTE PARA NAVEGACION ANTARTICA</b> Manuel H. Picasso, Hector Salgado, Beatriz Lorenzo y Gorki Jover Alba, Servicio Meteorológico de la Armada Argentina, Argentina .....	279
--	-----



## SESSION –RANGELAND 1

*Chair: Paul Budkewitsch, Canada Centre for Remote Sensing (CCRS), Canada*

### **RELATIONSHIP BETWEEN RADARSAT BACKSCATTERING COEFFICIENTS AND BIOPHYSICAL PROPERTIES OF THREE TYPES OF PASTURES FROM THE BRAZILIAN CERRADOS REGION.**

E.E. Sano, E.D. Assad, H.S. Bezerra, L. Feitosa, EMBRAPA, Center for Agricultural Research of Cerrados – CPAC, Brazil .....282

### **APLICACIONES DE IMÁGENES RADARSAT EN LA EVALUACION DE PRADERAS EN LA REGIÓN DE MAGALLANES - CHILE**

Carlos G. Pattillo, María Elena Pezoa, Pontificia Universidad Católica de Chile; María Iliá Cardenas, Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN) CORFO, Chile .....286

### **IMAGENES DE RADAR :SU UTILIZACIÓN EN LA IDENTIFICACIÓN DE PAISAJES EN LA CUENCA DEL RIO SANTA MARIA**

Stella Maris Navone, Esteban Palacin, Clara Movia, Alejandro Maggi y Eduardo Rienzi, Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, Argentina .....294

## SESSION – AGRICULTURE 2

*Chair: Christine Hutton, Canada Centre for Remote Sensing (CCRS), Canada*

### **IDENTIFICACIÓN MULTITEMPORAL DE CULTIVOS, EN LOS LLANOS OCCIDENTALES DE VENEZUELA, MEDIANTE EL USO DE IMÁGENES RADARSAT**

Ramiro Salcedo, Fundación Instituto de Ingeniería/CPDI; Xavier Bustos, Universidad Central de Venezuela (CENAMB); Heberto Pacheco, Universidad Nacional Experimental de Los Llanos (UNELLEZ), Venezuela. ....302

### **MONITOREO DEL USO Y COBERTURA DE LA TIERRA EN EL AREA AGRICOLA DE LA CUENCA DEL RIO LUJAN MEDIANTE DATOS DE RADAR**

María Cristina Serafini, Mirta Aída Raed, Miriam Esther Antes, Alfredo Rafael Cuello, PRODITEL, Universidad Nacional de Luján y Centro de Sensores Remotos, Argentina .....310

### **INFORME RADARSAT HONDURAS 1998**

Cristobal Vásquez, Corporación Hondureña de Desarrollo Frestal, Honduras .....317

**APPLICATIONS OF RADARSAT TO CROP MONITORING**

P. Mercuri, National Institute for Agricultural Technology (INTA); L. Frulla, Satellite Radiometry Group; C. Rebella, National Institute for Agricultural Technology (INTA); A. Gagliardini, Satellite Radiometry Group, Argentina .....318

**SESSION – GEOLOGY 3**

*Chair: Vern Singhory, Canada Centre for Remote Sensing (CCRS), Canada*

**SYSTEMATICAL CARTOGRAPHY OF THE NATIONAL TERRITORY OF 1:250.000 SCALE CORDILLERA PATAGONICO-FUEGUINA**

G. Marin, D. Azcurra, A.G. Tejado, Geological and Mining Survey of Argentina-SEGEMAR, Argentina .....326

**UTILIZACIÓN DE LAS IMÁGENES DE RADARSAT EN LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA Y EXPLORACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES EN LA SERRANIA DEL DARIEN Y BAJO ATRATO, COLOMBIA**

Alberto Cristancho, Domingo Mendivelso, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Santafe de Bogotá, Colombia .....333

**A COMPARISON BETWEEN SPACEBORNE RADARSAT AND AIRBORNE INTERA SAR SYSTEMS FOR IDENTIFYING LINEAMENTS IN THE AREA OF FAZENDA BRASILEIRO GOLD MINE, STATE OF BAHIA, BRAZIL**

Gilberto L. S. Hernandez, DOCEGEO/UFOP; Alvaro P. Crósta,IG-UNICAMP, Brazil .....341

**EVALUACIÓN DE RIESGOS VOLCANICOS A PARTIR DE IMÁGENES RADARSAT Y SPOT**

R. Coloma, R. Velasquez, Comision Nacional de Investigacion y Desarrollo Aeroespacial (CONIDA), Peru; V. Singhroy, Canada Centre for Remote Sensing, Canada .....346

**POTENTIALITIES OF RADARSAT-1 IMAGES IN GEOLOGICAL EXPLORATION OF BRAZILIAN AMAZONIAN: AN EXAMPLE IN THE PARDO RANGE REGION (STATE OF PARÁ)**

Mário Ivan Cardoso de Lima, Pedro Edson Leal Bezerra, Francisco Armando de Jesus da Fonseca Coêlho, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (DIGEO/N); Armínio Gonçalves Vale, Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais, Brazil .....355



## SESSION – MAPPING 1

*Chair: Carlos L. Elizondo, Instituto Geográfico Nacional, Costa Rica*

### **CARTOGRAFIA A PARTIR DE LA GENERACION DE MODELOS DIGITALES DE ELEVACION CON IMAGENES DE MICROONDAS BANDA-C**

My. Ing. Mario W. Sandóval and Cap. Ing. Juan Carlos Sanabria Ayala, Instituto Geografico Militar de Bolivia, Seccion Geografia y Recursos Naturales, Bolovia .....360

### **ACTUALIZACION DE CARTOGRAFIA NAUTICA ANTARTICA**

#### **(Etapa Primera)**

Héctor A. Salgado, Servicio de Hidrografia Naval – Armada Argentina .....368

### **IMAGE GEO-REFERENCIATION WITHOUT TERRESTRIAL CONTROL POINTS**

A.E.Giraldez, Comision Nacional de Artividades Espaciales (CONAE), Argentina .....372

### **GENERACIÓN DE MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN CON RADARSAT POR EL MÉTODO RADARGRAMÉTRICO: NUESTROS PRIMEROS RESULTADOS EN ZONA MONTAÑOSA**

Grégoire Leclerc, Nathalie Beaulieu, Javier Puig, Centro Internacional de Agricultura Tropical (IGAC); Jaime Jaramillo, Centro Regional de Estudios Cafeteros y Empresariales, Colombia .....374

### **QUALITATIVE INTERPRETATION EVALUATION OF RADARSAT-1 FINE MODE DATA FOR URBAN MAPPING PURPOSES**

Valerio Barbosa da Silva, INCRA, Brasil .....384

## SESSION – LAND COVER 3

*Chair: Tim Perrott, Canada Centre for Remote Sensing (CCRS), Canada*

### **USE OF C-BAND SAR DATA FROM HH AND VV POLARIZATION FOR THE QUANTIFICATION OF TOTORA AND BOFEDAL BIOMASS OF NATIVE FORAGES IN THE NORTHERN BOLIVIAN ALTIPLANO THROUGH C-BAND SAR DATA**

S. Moreau, ABTEMA, La Paz, Bolivia; Thuy Le Toan, CESBIO, Cedex, France and F. Navia, CONDESAN, La Paz, Bolivia .....388

<b>LATE PLEISTOCENE-HOLOCENE LANDSCAPE EVIDENCE FROM RADARSAT IMAGES, SW BUENOS AIRES PROVINCE, ARGENTINA</b> Gustavo A. Martínez & Jorge Martínez Arca, Centro de Geología de Costas y del Cuaternario, Argentina .....	390
<b>EVALUACION DE LA CINERGIA RADARSAT Y LANDSAT TM EN LA ACTUALIZACION DE MAPAS DE USO Y COBERTURA DE LA TIERRA EN LA CUENCA BAJA DEL RIO TEMPISQUE, COSTA RICA</b> Jorge Fallas, Laboratorio de Teledetección, Costa Rica .....	396
<b>MONITORING RICE CULTIVATION IN URUGUAY WITH RADARSAT</b> Daniel Panario, Ofelia Gutiérrez, Facultad de Ciencias, Uruguay .....	403

# IMÁGENES RADAR APLICADAS A ÁREAS INUNDADAS EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES. Proyecto Argentina – 28

**Aguglino R., Torrusio S., Bozzarello E., Calvanese G.**

Dirección de Aplicación de Imágenes Satelitarias.

Av. 7 n° 1267 2° piso La Plata (1900) Buenos Aires Argentina

Tel: 54 21 29 4951 Fax 54 21 29 4952

E-mail: capdis@isis.unlp.edu.ar

## RESUMEN

En este trabajo se presentan los avances del proyecto GlobeSAR-2 realizados hasta la fecha.

Los objetivos principales, consisten en evaluar las áreas afectadas por inundaciones en la Provincia de Buenos Aires y desarrollar una metodología operativa con el empleo de imágenes RadarSat que brinde una herramienta útil para la toma de decisiones en el momento de la emergencia hídrica.

Fueron utilizadas dos imágenes RadarSat: ScanSar Wide y Standard 1 Beam para enfocar la problemática a nivel regional y local respectivamente.

En una primera etapa se dirigieron los mayores esfuerzos al aprendizaje y manipulación del Software empleado (PCI, 1997), y de manera simultánea se ensayaron distintos procesos para el mejoramiento de la imagen (calibración, georreferenciación, filtrado, textura, etc.). Alcanzando, como resultado preliminar, una clasificación cuali-cuantitativa del área inundada, además de la superposición de datos catastrales en formato vectorial, incorporando esta experiencia al desarrollo de la pretendida metodología.

### Introducción:

La provincia de Buenos Aires es el área de producción agrícola ganadera más importante del país (Gráfico 1, detalle del área piloto bajo estudio) y desde el año 1972 ha sido notable el incremento de precipitaciones sufrido, sobrepasando los registros históricos. Este aumento ha producido una disminución de la capacidad de almacenamiento tanto superficial como subterráneo dando origen a anegamientos e inundaciones.

La pendiente media (W-E) de la región es de 0,02% y su morfología es producto de ciclos de extrema aridez ocurridos durante el Pleistoceno y Holoceno, donde la magnitud de los procesos eólicos colmataron los sistemas hidrológicos preexistentes. En la actualidad el Río Salado constituye el único drenaje potencial además de la evapotranspiración e infiltración

Este fenómeno, el cual afecta directamente a la producción, además de generar una disminución de las tasas impositivas, ya que los partidos declarados en emergencia o desastre son exceptuados de gravámenes. La evaluación del estado de afectación estaba a cargo de los mismos productores por medio de sus declaraciones orales.

Desde 1988, la DAIS viene desarrollando una metodología operacional, que consistía en la interpretación visual y el análisis digital de imágenes Landsat y Spot, que eran mapeadas y cuantificadas, determinando tres categorías o clases diferentes: áreas inundadas, áreas afectadas (donde el nivel freático llega hasta la superficie) y áreas sin problemas de agua.

Esta metodología no ha mostrado total eficacia durante los últimos años, en que la cobertura nubosa en periodos de excesos hídricos ha fluctuado entre el 60% y el 100%. Este inconveniente puede ser resuelto mediante la utilización de imágenes radar (FAO/ESA, 1993, Barber et al, 1996, Crevier et al, 1996).

La necesidad de evaluar las áreas realmente afectadas por fenómenos de inundación, han conducido a la formulación de los objetivos de este proyecto.



## Materiales y Métodos:

- Mapas topográficos a escala 1:50000.

- Mapa catastral a escala 1: 120000.

- Imágenes RadarSAT :

Scan Wide de fecha 22 de marzo de 1997.

Standard S1 de fecha 19 de marzo de 1997.

Software :

PCI

ArcInfo

ArcView

En una primera etapa del proyecto se intensificaron los esfuerzos en el aprendizaje y manipulación del Software (PCI, 1997).

Se trabajó principalmente sobre la imagen RadarSat Standard S1, que sufrió una serie de procesos que tendieron a mejorarla como se gráfica en la Fig 1.

La imagen original fue calibrada y a partir de la misma se extrajo una subimagen para emplearla como área piloto y aplicar sobre ella los diversos procesos.

La subimagen fue georreferenciada con el empleo de la cartografía a escala 1:50000. El método empleado fue el de convolución cúbica.

Sobre la imagen georreferenciada se aplicaron filtros no adaptativos (media, mediana, etc.) y adaptativos (Kuan, Map, Gamma, Lee, Frost y sus mejorados). Fueron comparados visualmente distintos filtros de textura como homogeneidad, contraste, media, desvío standard, etc. (Buchrothner, 1993).

El análisis de componentes principales (PCA) también fue aplicado sobre la imagen calibrada y georreferenciada.

Los canales empleados para la clasificación supervisada correspondieron a la imagen calibrada, filtrada por el filtro de Frost, de textura (media) y primera componente principal; reescaladas todas ellas a 8 bit, pues el software así lo requiere.

Se tomaron áreas de entrenamiento sobre cuerpos de agua y sobre diversas coberturas (campo, ciudad, etc.)

Máxima Verosimilitud fue el método de clasificación supervisada empleado y se compararon distintas clasificaciones variando el umbral y el peso (Threshold y bias) para cada clase.

Para mejorar la calidad visual de la imagen clasificada se procedió a la utilización de operadores matemáticos, (filtros programables) de dilatación y contracción, tendientes a homogeneizar áreas. (Remote Sensing Course, 1997)

Con la imagen Scan Wide se procedió a la calibración, georreferenciación y su mejoramiento (filtro de Frost y textura).

Se generaron Bitmaps para cada uno de los partidos de interés (Pehuajo, Carlos Tejedor, Trenque Lauquen) los cuales fueron clasificados según la metodología descrita para la imagen standard.

Se efectuó la superposición de archivos vectoriales en formato .dxf. Sobre la imagen standard se ajustó una porción del mapa catastral, y sobre la Scan Wide los límites de los partidos. Ambos archivos vectoriales fueron obtenidos a partir de la digitalización de la cartografía con ArcInfo PC.

Las salidas gráficas tanto de las imágenes como de los vectores fueron realizadas con ArcView.

## Resultados preliminares:

A partir de los procesos aplicados sobre la imagen standard, se obtuvieron los siguientes resultados:

- El RMS alcanzado en el proceso de georreferenciación fue menor al pixel.
- Los filtros no adaptativos degradaron demasiado la imagen; a diferencia de aquellos creados especialmente para la reducción del Speckle (adaptativos) siendo el más conveniente para la zona el de Frost (mejorado).
- En cuanto a la textura, visualmente analizada, la de media fue la que arrojó el mejor resultado. (Fig. 2).
- El reporte estadístico de la clasificación más adecuada se expone en la tabla 1 mientras que en la Fig. 3 se aprecia el resultado cualitativo, posterior a la aplicación de los filtros programables
- La imagen con el detalle de las parcelas catastrales superpuestas se presentan en la Fig. 4. Este

tipo de información tiene un valor importante ya que es la requerida por parte de las autoridades. Con este elemento es posible identificar con precisión aquellos propietarios que se verán efectivamente beneficiados por la disminución impositiva.

La Fig. 5 muestra el área afectada, por la inundación obtenida de la clasificación por Máxima Verosimilitud en la imagen ScanSAR Wide, junto a los límites de partido. A partir de los reportes estadísticos generados desde la clasificación se obtuvieron las superficies cubiertas por agua en los tres partidos de estudio que son resumidos en la tabla 2.

Las dificultades iniciales presentadas en la utilización del software, fueron ampliamente compensadas por la versatilidad que presenta el sistema para el procesamiento de imágenes.

El análisis de los dos tipos de imágenes empleadas demuestran, a través de los resultados, un enfoque diferente en cada caso. Para estudios más localizados, con mayor detalle de parcelas, para su fusión con datos ópticos y relación con parámetros físicos (próximamente) es más apropiado el manejo de datos standard. Mientras que para la evaluación regional y rápida de áreas afectadas por problemas hídricos fue conveniente el empleo de datos ScanSAR Wide.

Para la etapa final se espera alcanzar la optimización de la metodología operativa, junto a la fusión con datos ópticos y evaluar la relación entre humedad del suelo con el coeficiente de retrodispersión del radar. Maximizando de esta manera las potencialidades de los datos RadarSat.

#### Referencias:

Barber, Davide G.;Hochheim, Klaus P.;Dixon, Roy; Mosscrop, David R. & McMullan,Michael J. (1996). Temporal analysis of ERS-1 SAR backscatter for hydrology applications. *Canadian Journal of Remote Sensing* Vol 22,Nº1.pp 65 - 76.

Buchrolthner, M. (1993). Cartographic information extraction from SAR images using filtering and textural analysis, Cap. 15 pp. 353 - 372 en *SAR Geocoding: data and system*. Gunter Schreier (Ed).

Crevier, Yves; Pultz, Terry J.; Lukowski, Tom I. & Toutin, Thierry.(1996). Temporal analysis of ERS-1 SAR backscatter for hydrology applications. *Canadian Journal of Remote Sensing* Vol 22,Nº1.pp 65 - 76.

FAO/ESA (1993). Radar imagery: theory and interpretation. *Remote Sensing Series N°67*.pp 103.

PCI - Easi User's Guide, version 6.2, 1997.

Remote Sensing Course, (1997) GDTA, Guía de Estudio.

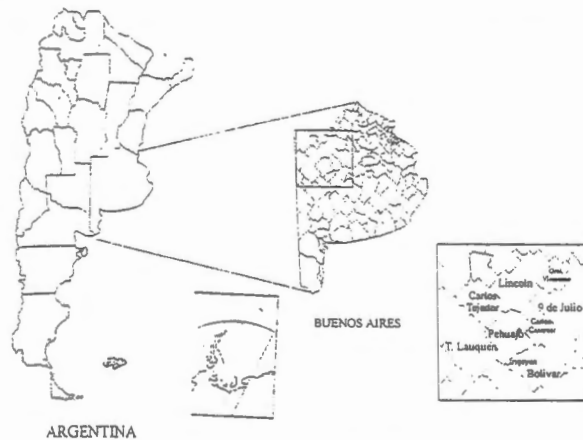


Gráfico 1: Ubicación del área de estudio

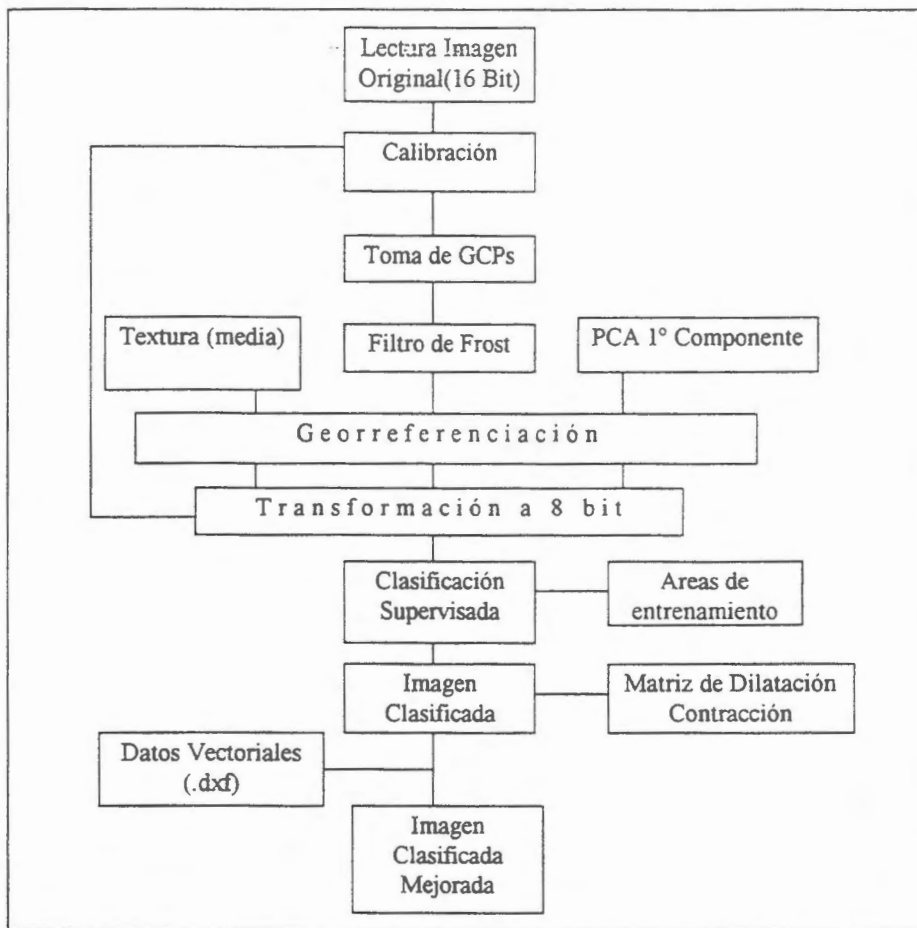


Fig. 1: Esquema de procesos aplicados a las imágenes Standard 1 y ScanSAR

Categoría	Nº Pixels	% de Imagen	Threshold	Bias
Agua	286837	2.58	3.00	1.00
No agua	10506330	94.40	3.00	1.00
Nulo	336833	3.03		
	11130000	100.00		

Matriz de Confusión

Categoría	% Nulo	% Agua	% No agua
Agua	0.24	97.74	2.02
No agua	3.03	0.24	96.73

Tabla 1: Reporte estadístico de la imagen Standard 1 Clasificada.



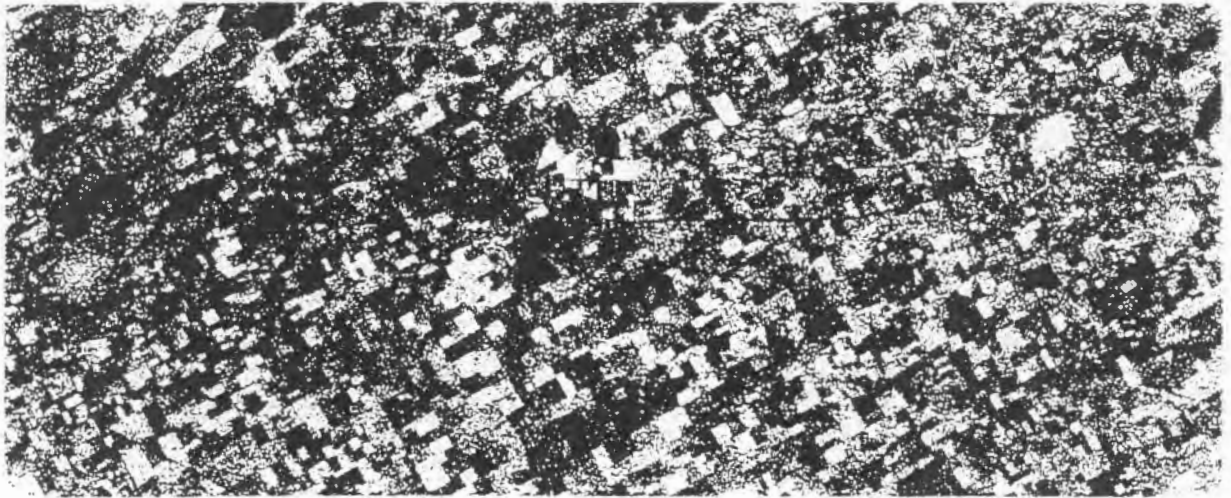


Fig 2: Imagen Standard 1. Filtro de Textura

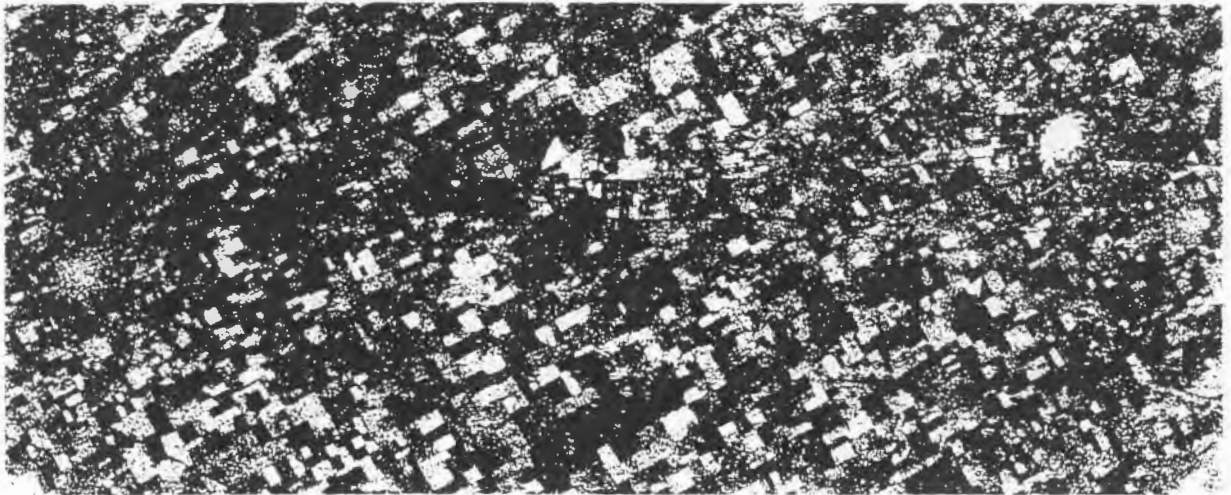


Fig 3: Imagen Standard 1 Clasificada

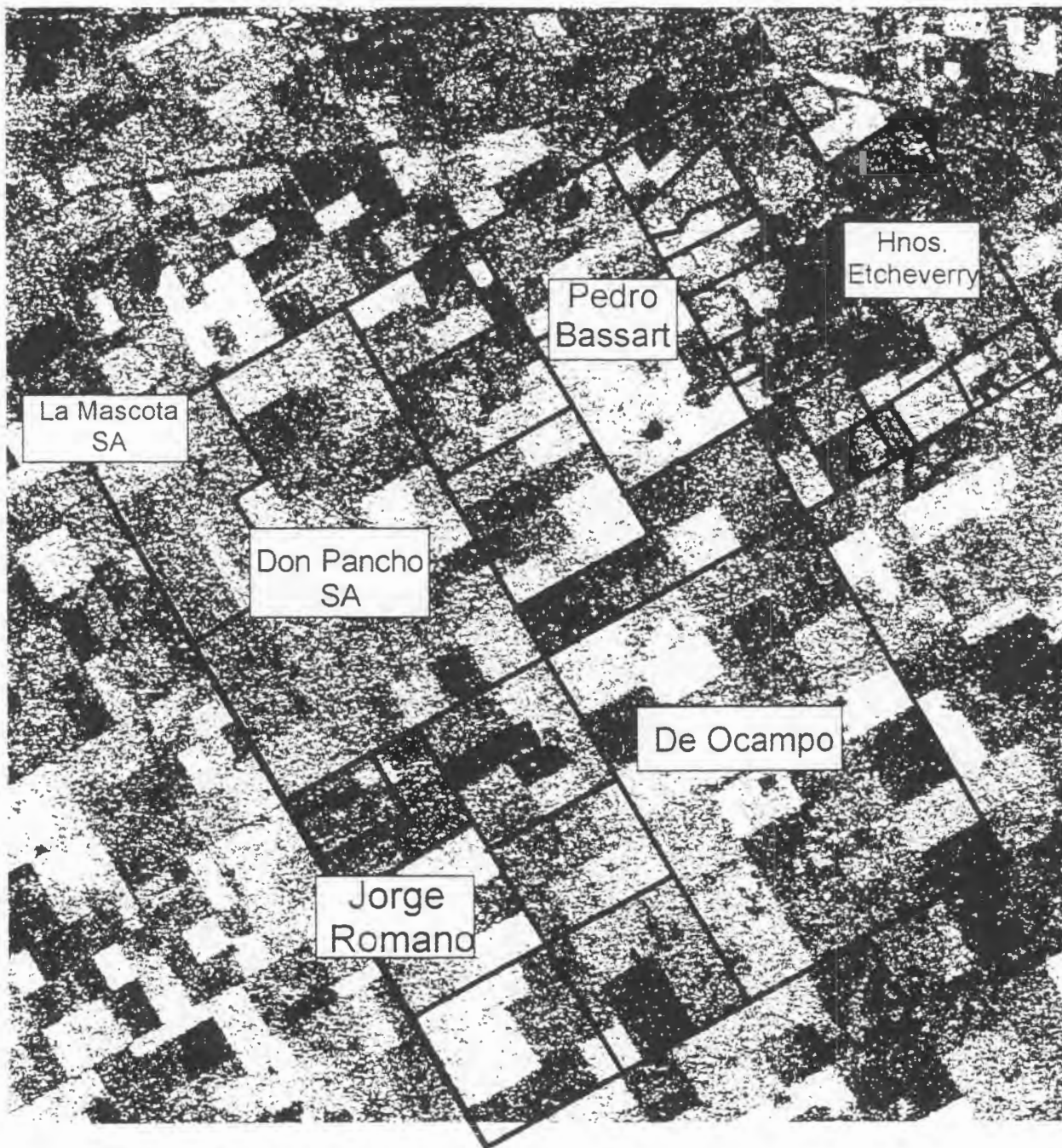


Fig 4: Porción de Imagen Standard con superposición de detalle catastral

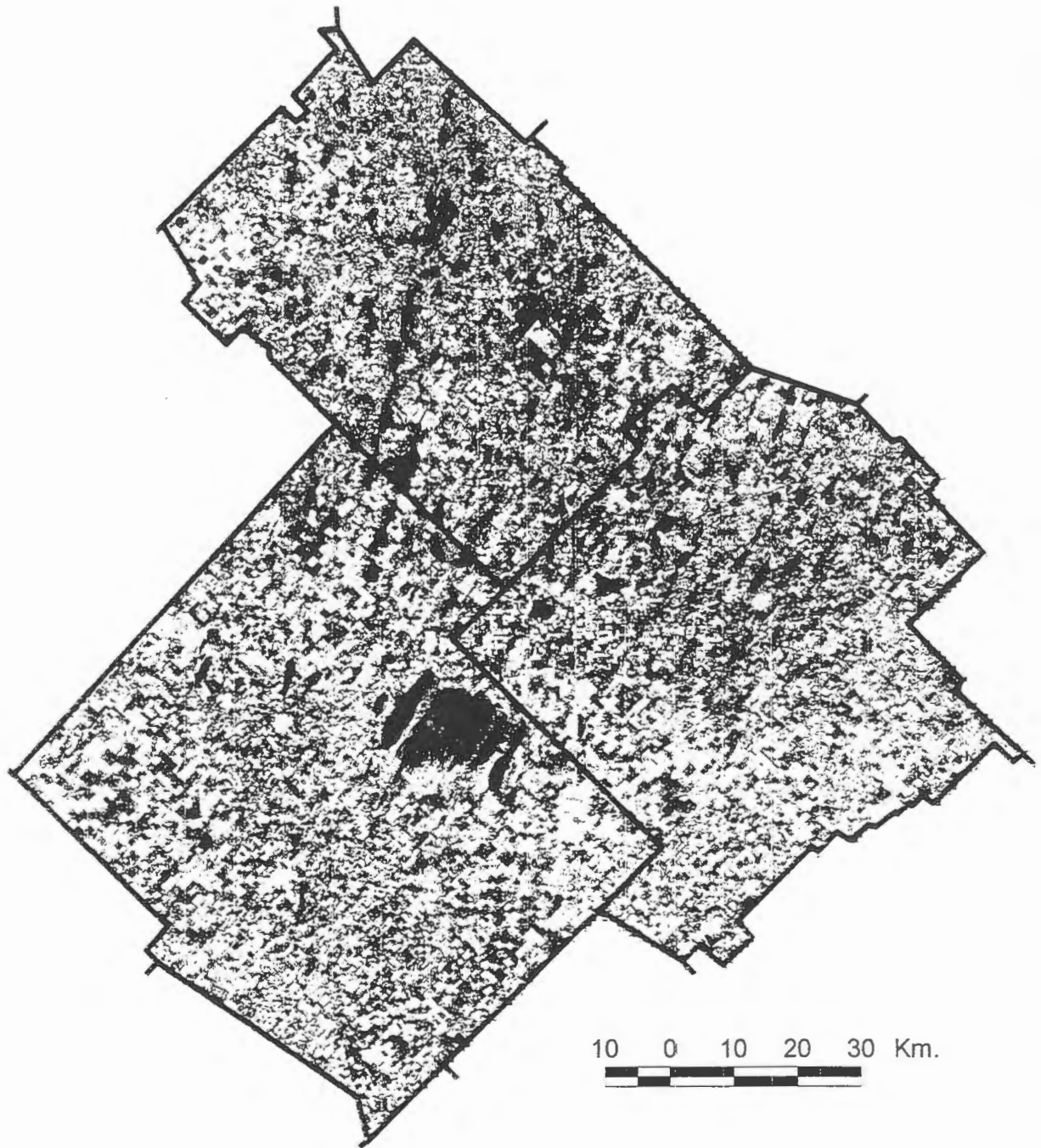


Fig 5: Porción de Imagen ScanSAR Wide con superposición de límites políticos

Partido	Area total en ha	Area inundada en ha
Trenque Lauquen	569.369	21.520
Pehuajo	460.313	9.506
Carlos Tejedor	402.944	14.070

Tabla 2: Superficie inundada en los partidos de estudio

# **DETERMINACIÓN DE ÁREAS INUNDADAS EN LA REGIÓN METROPOLITANA DE CHILE.**

**Marion Espinosa Toro (Ing. Agrónomo)**

**Centro de Información de Recursos Naturales de Chile (CIREN - CORFO).**

**Manuel Montt 1164, Santiago, Chile**

**Tel.: 2236641 Fax: 56-2-2096407**

**Email: ciren@reuna.cl**

**Roberto Castro Ríos (Dr. En Cartografía, Teledetección y SIG)**

**Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal.**

**Vicuña Mackenna 4860, Santiago, Chile.**

**Tel.: 5532900 Fax: 562 - 5520780**

**Email: rcastro@sas.puc.cl**

## **RESUMEN**

El presente trabajo se orienta a desarrollar una metodología basada en datos de imágenes de radar (RADARSAT) que permita determinar áreas inundadas, suelos saturados e indirectamente cuantificar los recursos afectados. Para ello se utilizó una imagen modo S7 del 28 de Junio de 1997, correspondiente a la situación del área de estudio 4 días después de un periodo de 3 días de lluvias intensas.

Para comparar los datos de RADARSAT con una situación anterior, se adquirió una imagen SPOT XS del 15 de Febrero de 1996. Se realizó corrección de Speckel, transformación a coeficiente de retrodispersión y aplicación de distintos filtros de realces para contrastar las áreas inundadas. Posteriormente se aplicaron los procesos de clasificación supervisada y no supervisada y análisis de componentes principales para finalmente realizar un estudio de cambio considerando la imagen de radar y la imagen SPOT.

Los resultados a la fecha indican que, hace necesario tener datos de radar lo más cercano al periodo de inundación y tener presente las características de los suelos y la topografía del área, con el fin de explicarse para igual intensidad del fenómeno las distintas respuestas que se registran.

En la imagen se observa claramente que los suelos de buen drenaje y altas pendientes no presentan posibilidades de definir grados de saturación salvo que se realicen análisis cuantitativos para obtener la correlación entre los datos de humedad de terreno y los datos de retrodispersión registrados. En el caso de los suelos con drenaje imperfecto y pendientes planas a ligeramente onduladas, la retención de agua perdura por más tiempo visualizándose con claridad en la imagen tomada 4 días después de ocurrido el evento y posibilitando su delimitación en base a la comparación multitemporal RADARSAT – SPOT e información auxiliar de topografía y suelo.

## **Introducción**

Históricamente, el territorio nacional es afectado por fenómenos naturales como aluviones e inundaciones producidos por cambios de las condiciones climáticas. En los últimos años, el “fenómeno del Niño” es una de las principales causas de ellos. Como consecuencia de ello, existe la necesidad de cuantificar los daños que producen las inundaciones en las zonas urbanas y rurales del país. Los métodos que se utilizan a la fecha corresponden a técnicas tradicionales, sin embargo, en las últimas décadas, la teledetección satelital y en especial los sensores ópticos y de radar, han surgido como una herramienta eficiente para determinar los efectos de estos fenómenos.



Las inundaciones ocurridas el año 1997 en Santiago de Chile, dejaron en evidencia la necesidad de contar con el conocimiento en las aplicaciones de las tecnologías satelitales con el fin de evaluar los daños producidos en las zonas urbanas y rurales en forma oportuna.

Por lo anterior, esta investigación se inserta dentro del Programa GLOBESAR II y tiene por objetivos los siguientes:

- 1.- Identificar en imágenes de RADARSAT las áreas inundadas, saturadas y distintos niveles de humedad en el área de estudio.
- 2.- Determinar el procesamiento digital más apropiado y los factores de análisis visual junto con determinar las ventajas y desventajas de estas técnicas.
- 3.- Determinar la conveniencia de la utilización combinada de imágenes de radar con imágenes ópticas.

En la presente comunicación se presenta el avance y los resultados preliminares obtenidos a la fecha.

### **Área de Estudio**

El área de estudio corresponde a las Comunas de Tiltil, Lampa y Colina de la Región Metropolitana, sectores donde ocurrieron las principales inundaciones el invierno del año 97. Estas comunas se ubican en el sector norte de la ciudad de Santiago entre los 70°15' y 71° 15' de Latitud Sur y los 33°00' y 33°30' de Longitud Oeste. Se caracterizan por corresponder a sectores periurbanos, donde se combina lo urbano con lo rural. Se ubican en la Depresión Intermedia rodeados por cordones montañosos de la Cordillera de la Costa y la Cordillera de Los Andes. Los suelos en general son de texturas finas en superficie y media en profundidad y de buen drenaje con excepción de los suelos de Batuco que se caracterizan por presentar texturas arcillosas en todo el perfil, mal drenaje y son suelos fuertemente salinos y alcalinos. En términos de recursos hídricos, se caracterizan por la presencia de esteros que drenan de norte a sur interceptando el área y creando numerosos canales de riego, estos últimos asociados a embalses como el Huechún y la laguna Batuco. En la presente comunicación se presentan los resultados obtenidos para la comuna de Lampa, ubicada en el cuadrante noreste de la imagen de radar original.

### **Materiales**

Para la realización del estudio se cuenta con una imagen del sensor RADARSAT, del 28 de Junio de 1997, modo Standard 7 (S7), ascendente. Esta imagen corresponde a la situación del área de estudio 4 días después de un periodo de 3 días de lluvias.

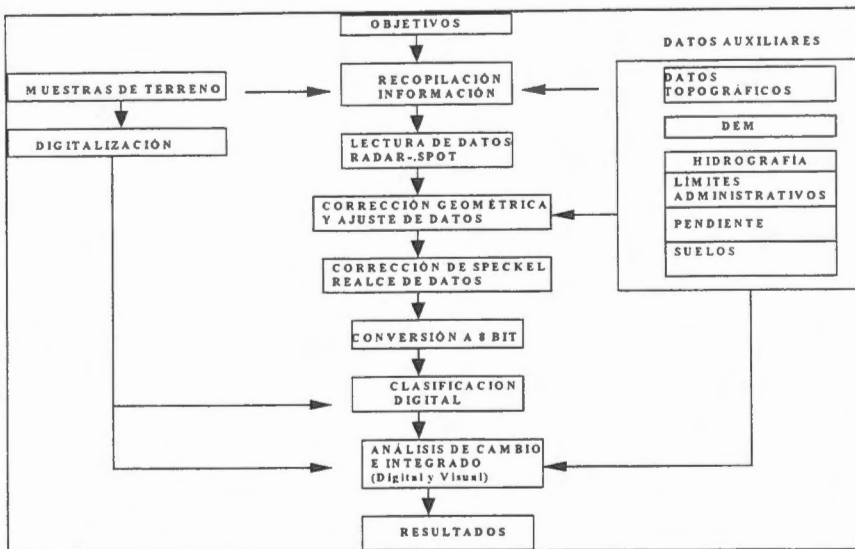
Para efecto de complementar la información y comparar los datos de RADARSAT con una situación anterior, se adquirió una imagen SPOT XS del 15 de Febrero de 1996. Con la colaboración de la Secretaría Ministerial de Vivienda de la Región Metropolitana, se obtuvieron las muestras de terreno correspondientes a las áreas inundadas y afectadas por el fenómeno de las inundaciones, debidamente delimitadas en cartografía topográfica regular, escala 1:50.000. De igual forma, se contó con fotografías terrestres de las áreas inundadas.

Los procesamientos digitales y de análisis visual se realizaron en PC y WS Silicon Graphics. En el primer caso, el software utilizado fue el PCI y Erdas Imagine para WS en el segundo.

### **Metodología**

La metodología utilizada se presenta en la Fig.1 siguiente :

**Fig. 1: Esquema Metodológico Utilizado**



A partir de los objetivos señalados en la introducción, se inicia la recopilación de información con los organismos encargados de emergencia y se determinaron muestras de terreno de las distintas áreas estudiadas.

Los procesos realizados sobre los datos radar fueron la conversión de los niveles digitales a coeficientes de retrodispersión, corrección de Speckel utilizando el filtro Gamma Map de 3 x 3 y distintos filtros de realces para contrastar las áreas inundadas. Posteriormente se aplicaron los procesos de clasificación supervisada y no supervisada para finalmente realizar un análisis de cambio entre la imagen de radar y la imagen SPOT. Lo que en conjunto con un análisis visual de los productos obtenidos permitió obtener la zonificación final.

### Resultados

El análisis visual de la imagen radar, apoyado por información auxiliar y las muestras de terreno, definieron las siguientes clases:

- 1.- Cuerpos de Agua : Se distinguen en tonos muy oscuros a negros y corresponde a niveles digitales bajos.
2. - Suelos Inundados: Corresponden a superficies que al momento del registro de la imagen se mantienen con una lámina superficial de agua, identificándose en tonos oscuros a negros (ND bajos).
- 3.- Áreas Saturadas : Los terrenos agrícolas y con vegetación arbórea saturados se presentan de tonos grises claros (ND intermedios a altos) y los sectores urbanos en tonos blancos brillantes (ND altos)
- 4.- Áreas Húmedas no saturadas en torno a cajas de ríos o esteros: Se observan de tono gris (ND intermedios)
- 5.- Áreas secas en superficie: Con vegetación arbórea se observan en tonos grises claros (ND altos) y suelos desnudos de tonos más oscuros (ND intermedios a bajos).

Luego de los procesos de realces y corrección del moteado las clases tendieron a separarse espacialmente, sin embargo al realizar las clasificaciones digitales, las principales confusiones fueron:

- Áreas inundadas con cuerpos de agua (lagunas, embalses) y sombras en los sectores de serranías

- Áreas saturadas urbanas con áreas con vegetación arbórea.
- Áreas saturadas de lecho de río con áreas secas en superficie correspondientes a cerros.

Al realizar la clasificación digital y el análisis de cambio combinado RADARSAT - SPOT mediante técnicas de análisis de componentes principales y análisis visual, permite llegar a definir las distintas clases temáticas señaladas (figura 2 y 3).

Al comparar estos resultados con el mapa de inundación otorgado por los organismos gubernamentales, se obtienen grandes diferencias dadas principalmente a que este mapa se realizó con observaciones de campo, consultas e interpretación de lo ocurrido el mismo día de las inundaciones, a diferencia de la imagen radar que corresponde a 4 días después de ocurrido el evento, en donde, muchos sectores que se inundaron ha disminuido su contenido de humedad. Así también la espacialización de la zona resulta ser general por cuanto no se preciso con fotografías aéreas.

Considerando las muestras obtenidas de terreno más la consulta a expertos, la verificación de las clases definidas se realizó a través del análisis de los coeficientes de retrodispersión para cada una de ellas, como se muestra a continuación (Cuadro 1):

**Cuadro 1: Retrodispersión de las Clases Temáticas**

CLASE	MIN.	MAX.	MODA
Cuerpos de Agua	- 22	-32	-26
Áreas Inundadas	-15	-29	-25
Suelos saturados	-16	-22	-18
Áreas agrícolas saturadas	-2	-14	-10
Áreas con vegetación Arbórea	-2	-11	-6
Áreas Urbanas	-3	-12	-7

Los resultados de retrodispersión indican que la vegetación arbórea (frutales, matorral arborescentes) y las áreas urbanas presentan altos coeficientes de retrodispersión y se comportan en forma similar, lo que crea confusión entre estas clases. Por otra parte, las clases de suelos inundados y la de suelo saturado, correspondientes al área de Batuco, presentan valores de retrodispersión bajos pero diferenciables. Finalmente, la clase de suelos agrícola saturados presentan la mayor retrodispersión.

Estos valores de retrodispersión se explican de la siguiente forma:

- las áreas inundadas al igual que los cuerpos de agua en general, responden de una manera especular.
- los suelos saturados, en este caso, corresponden a suelos de textura arcillosa, altamente salinos y altamente calcáreos, lo que implica una mayor presión osmótica ejercida por estas sales aumentando la conductividad eléctrica de estos suelos y por tanto aumentando la constante dieléctrica del agua. Este contenido de humedad crea una película superficial sin rugosidad (barro) que responde en forma casi especular.
- los suelos agrícolas saturados, son zonas con tratamientos culturales (arados, surcados, etc.) que agregan a la humedad la característica de rugosos, provocando una mayor retrodispersión que en los casos anteriores (cuerpos de agua, suelos inundados y saturados sin cultivos) pero menor que en el caso de la vegetación arbórea y zonas urbanas.
- las áreas urbanas y la vegetación arbórea, por su estructura tienen una alta retrodispersión de rincón lo que aumenta la retrodispersión en su totalidad, correspondiendo a las clases de mayor retrodispersión en la escena.
- La cuantificación de las dos primeras clases indican que para la comuna de Lampa, a 4 días de ocurrido el suceso, se encontraban 592 ha de terrenos agrícolas con aguas superficiales y 2.941 ha con suelos saturados. No se incluye en estas cifras la zona urbana de Batuco que en su totalidad se inundó.

## Análisis y Conclusiones

En general los resultados indican que dadas las características de los suelos y la topografía del área, hace necesario tener datos de radar lo más cercano al periodo de inundación. En la imagen se observa claramente que los suelos de buen drenaje y altas pendientes no presentan posibilidades de definir grados de saturación salvo que se realicen análisis cuantitativos para obtener la correlación entre los datos de humedad de terreno y los datos de retrodispersión registrados.

En el caso de los suelos con drenaje imperfecto y pendientes planas a ligeramente onduladas, la retención de agua perdura por más tiempo visualizándose con claridad las áreas inundadas en la imagen tomada 4 días después de ocurrido el evento y posibilitando su delimitación.

Para ayudar en la identificación de áreas inundadas y sus distintos niveles de humedad, es necesario contar al menos con dos imágenes de radar en dos fechas diferentes: una antes del evento y otra posterior.

Dado lo anterior, es posible obtener una cartografía de áreas inundadas y la cuantificación de estas a partir de datos de radar, lo que queda demostrado con este trabajo por cuanto permitió definir las áreas inundadas de la Comuna de Batuco, conocer la distribución espacial de estas y precisar la cartografía preliminar realizada por los organismos públicos en forma tradicional.

Figura 2. Fusión imagen de Radar – imagen SPOT



SAR S7 28 DE JUNIO DE 1997



SPOT - SAR S7

CENTRO DE  
INFORMACION  
DE RECURSOS  
NATURALES  
CIREN

PONTIFICIA UNIVERSIDAD  
CATOLICA DE CHILE  
FACULTAD DE AGRONOMIA E  
INGENIERIA FORESTAL

AREAS DE INUNDACIONES  
COMUNA DE BATUCO  
SANTIAGO - CHILE  
28 DE JUNIO DE 1997

FUSION :  
• SPOT-XS FEBRERO 1996  
• RADARSAT (SAR) S7  
JUNIO DE 1997



GLOBE-SAR II

CENTRO CANADIENSE  
DE PERCEPCION REMOTA



Figura 3. Areas de Inundación y saturadas

AREAS INUNDADAS Y HUMEDAS  
CLASIFICACION RADARSAT (S7)



LEYENDA

- Agua en superficie
- Suelos saturados y sombras
- Suelos húmedos
- Suelos húmedos con cultivos
- Frutales y urbano

Comuna de Batuco  
Santiago - Chile  
28 de junio de 1997

CIREN- CORFO

P. Univ. Católica de Chile  
Fac. de Agronomía e Ing. Forestal

# UTILIZACION DE IMÁGENES DE SATELITES (RADARSAT), PARA FINES DE EVALUACION COSTERA. CASO PUNTA COLES –ILO

**Carlos ALVARADO Mendoza**

DIRECCION DE HIDROGRAFIA Y NAVEGACION  
DE LA MARINA DE GUERRA DEL PERÚ  
DPTO. DE MEDIO AMBIENTE  
AV. GAMARRA 500 CHUCUITO – CALLAO – PERU  
e-mail: hidronav+@amauta.rcp.net.pe

## RESUMEN

Frente a la necesidad de monitorear el impacto del desarrollo Industrial que el hombre esta desarrollando en las riveras de litoral de los rios es necesario realizar evaluaciones a nivel macroscópico, siendo una alternativa, la utilización de Tecnología Satelital de sensores activos y pasivos.

El presente trabajo pretende desarrollar una metodología para el planeamiento de trabajos preliminares y finales, evaluar el impacto de las actividades que el hombre esta desarrollando en las ciudades cercanas a los ríos y la alteración que se están realizando en la cuenca.

Se plantea y se evalúa la aplicabilidad al caso del Valle de Ilo – Punta Coles, donde por su importancia Portuaria hace necesario la evaluación, monitoreo y toma de medidas de prevención y mitigación del aporte de agua y sedimentos que hace la cuenca y la variación del Perfil Costero.

Actualmente existe la tendencia hacia la creación de programas más globales e integrados, ya que estos programas globales deben de hacer uso de tecnología de punta, tales como la utilización de fotografías aéreas, imágenes de Satélites de sensor Activo y Pasivo, software para tratamiento de archivos Vectoriales y Raster, colocación de puntos de control, levantamiento de data de la cuenca, aporte de la calidad de agua y sedimento al mar, así como también el comportamiento de los vientos y corrientes, los que finalmente contribuirán a la variación del litoral costero y muy especialmente al tiempo de vida de las estructuras portuarias construidas en dicho litoral.

## I.- INTRODUCCION

La Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN) ha iniciado en estos últimos años dentro del Departamento del Medio Ambiente la creación del Area denominada Perfil Costero y Percepción Remota, para lo cual ha realizado la implementación tanto con hardware, software, imágenes sateliticas, capacitación de los profesionales en Tratamiento de Percepción Remota y SIG, dicha área tiene como una de sus actividades la Evaluación y Estudio de la variación del Perfil Costero.

Con la utilización de la tecnología satelital se abrieron nueva posibilidades de realizar estudios a nivel macroscopico utilizando satélites de Sensor Activo (Radar) y Pasivo (Spot, Landsat, Insat, etc.). Los cuales aprovechan de la irradiancia obtenida por el radiómetro y es convertida en datos en las respectivas bandas que posee el satélite. La causa de perturbación de la información en el caso de sensores pasivos es la nubosidad, la cual es eliminada por sensores activos. La importancia de la utilización de algoritmos nos permitirán mejorar visualmente la interpretación de dichas imágenes digitales.

Esta Dirección, tiene planeado realizar la evaluación y estudio del Perfil Costero, de toda la franja costera que le corresponde, mediante la utilización de tecnología de punta con la finalidad de determinar zonas de riesgo de contaminación marina, erosión y sedimentacion para formular las políticas de un manejo integral adecuado que nos permitan prevenir y mitigar impactos que alteren el ecosistema marino (fauna ictiología y estructuras portuarias).

Esta Dirección presento un Proyecto para la utilización de Tecnología Satelital con el fin de evaluar la variación del Perfil Costero, el caso específico es la Zona Punta Coles-Ilo, de otra parte el gobierno Canadiense a través del CCRS-GlobeSAR II proporciono Imágenes de Radar de la Zona de Punta Coles.

## II.- AREA DE ESTUDIO:

La zona motivo de estudio esta ubicado al sur de Lima comprendida entre las latitudes 17° a 18° Sur (Fig. 01), el área piloto en la que se usara tecnología satelital, esta nos servirá de punto de partida para continuar con las demás zonas tanto al sur y norte, hasta cubrir todo el litoral costero comprendido entre Punta Capones (Tumbes) hasta el Balneario Santa Rosa (Tacna).

La importancia de esta zona es debido a que en dicha área está ubicada el Puerto de Ilo, el cual sirve para transportar minerales explotados por la Southern Perú Coper Corporation (Toquepala y Cuajone). Este puerto inició sus operaciones el 01-Ene-1969. Actualmente el gobierno la ha declarado Zona Franca y por dicho puerto, los Bolivianos tienen vía libre hacia el mar. Es uno de nuestros puertos principales en donde se ha iniciado una gran actividad (minero-comercial).

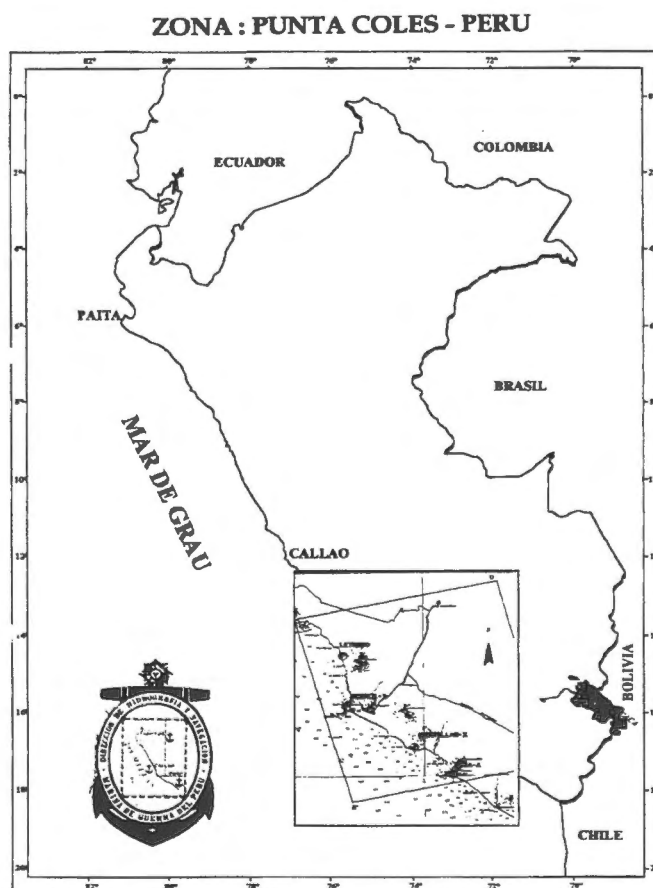


Fig.01

Al Norte de Punta Coles esta el Río Ilo y al Sur El Río Locumba (Fig. 02), este último es uno de los mas críticos de la zona debido al alto contenido de contaminante producto de la actividad minera desarrollada en la cuenca ya que en ella se encuentran ubicados los asentos mineros de Toquepala y Cuajone, los que aportan gran cantidad de relaves mineros a dicho cauce, los que fueron analizados Laboratorios del Ministerio de Pesquería Set-86, la lengua de relaves mineros se prolongan 150 mt, mar adentro 1.5 Km. al norte y 1 Km al sur (Estudio Solicitado por Dames y Moore).

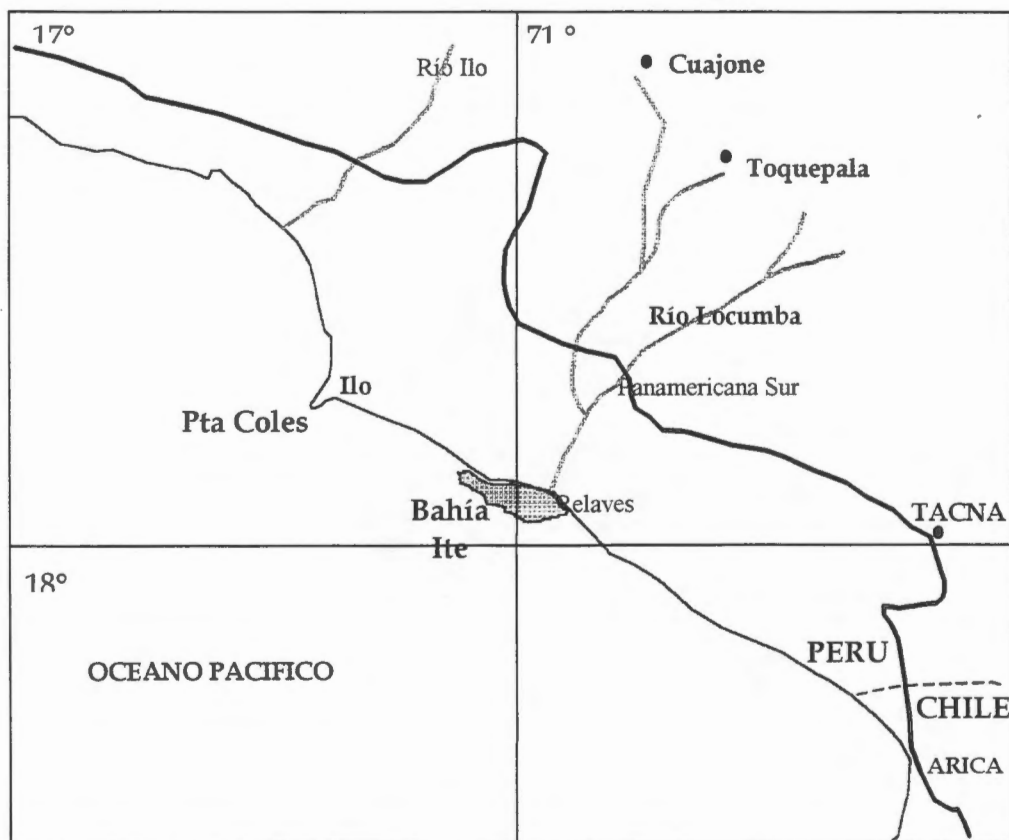


Fig.02 Mapa de Ubicación del Area de Estudio

**III- DATOS:**

Para la realización del presente trabajo fue necesario contar con:  
Imagen RADAR con las siguientes características:

<b>GLOBESAR</b>	<b>1ra IMAGEN</b>	<b>2da IMAGEN</b>
• Geographical Area:	Perú – 12	Perú – 12
• Scene Start Time:	Jul. 09 1997 23:22:48.052	Feb. 10 1998 23:22:48.816
• Scene Stop Time:	Jul. 09 1997 23:23:03.285	Feb. 10 1998 23:23:08.625
• Orbit:	8766 ascending	11853 ascending
• Orbit Data Type:	Definitive	Definitive
• Application Lut Applied:	Mixed	Mixed
• Beam Mode:	SAR STANDARD 7 BEAM	SAR STANDARD 7 BEAM
• Product Type:	Path Image (SGF)	Path Image (SGF)
• Format :	RADARSAT CEOS	RADARSAT CEOS
• Number of Image Lines:	8160	7933
• Number of Image Pixels:	8939	8942
• Pixel Spacing:	12.500 m.	12.500 m
• Scene Centre:	17° 36' S 70° 55' W	17° 37' S 70° 56' W

Vease Fig. 03, 04

Ambas imágenes son del Tipo:

- STANDART 7 BEAM \* Angulo de Incidencia: 45-49° \* Azimut Resolución: 27 m
- # of Azimuth looks: 4 \* Efective # looks: 3.1

**Corner Coordinates 1ra IMAGEN:**

(19-JUL-1997)	
17° 17' 45.50" S	17° 02' 17.98" S
71° 32' 51.18" W	70° 31' 56.00" W
18° 11' 18.95" S	17° 55' 42.69" S
71° 18' 21.48" W	70° 17' 09.18" W

**Corner Coordinates 2da IMAGEN:**

(10-FEB-1998)	
17° 18' 59.21" S	17° 03' 31.17" S
71° 34' 04.40" W	70° 33' 07.57" W
18° 11' 02.57" S	17° 55' 26.14" S
71° 19' 59.04" W	70° 18' 45.55" W

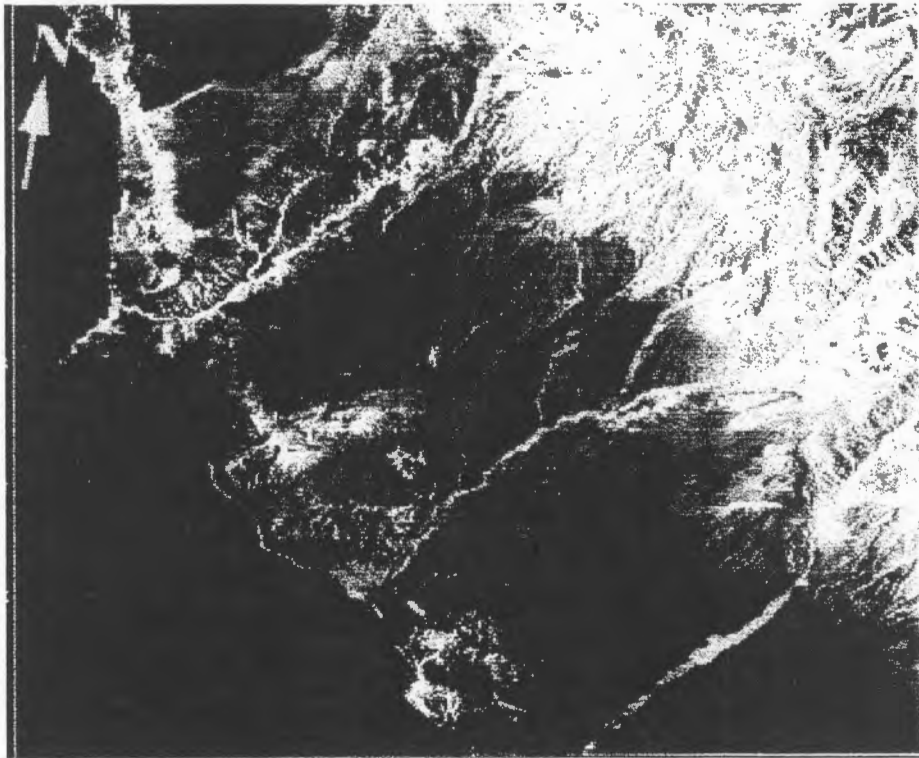


Fig. 03 PUNTA COLES, PERÚ JUL 9 1997, RADARSAT - 1, BEAM S7

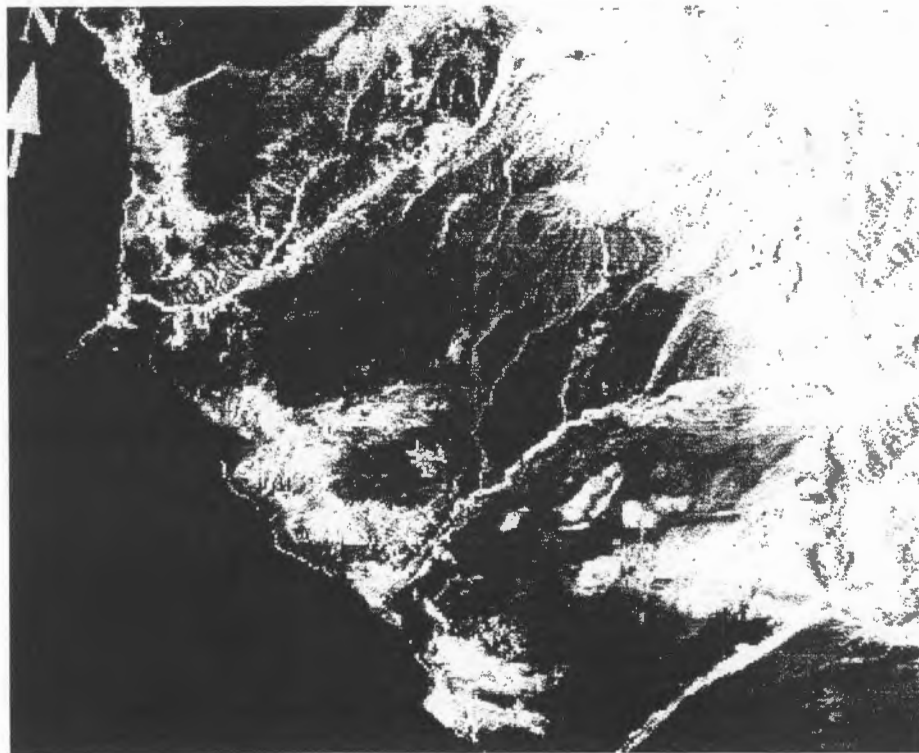


Fig. 04 PUNTA COLES, PERÚ FEB.10 1998, RADARSAT -1, BEAM S7



- **Fotografías aéreas de:**  
Servicio Aerofotográfico Nacional  
Fecha: Marzo - 1979
- **Fotografías: Fotos convencionales**
- **Cartografía :**  
Instituto Geográfico Nacional: Escala 1/100,000  
Cartas: 35-s, 35-t, 38-u, 35-v, 36-t, 36-u, 36-v, 37-u  
Dirección de Hidrografía y Navegación: Escala: 1/500,000 Carta: 2200
- **Software:**  
PCI (Easi Pace) Ver. 6.1 for Windows  
Idrisi 2.0 for Windows  
MapInfo 4.0 for Windows.  
ER Mapper for Windows Ver. 5.5
- **Hardware:**  
Pc-Compatible, de 128 Mb. RAM. Hard Disk 6.4 Gb. Escaner. Etc.

### METODOLOGÍA USADA:

La metodología usada para el procesamiento de la imagen Radarsat es la que se detalla a continuación:

- La imagen RADARSAT contenida en CD se levantó con el algoritmo CDSAR de PCI(EASI PACE V.6.1), y se obtuvo la imagen lista para trabajar.
- La Imagen se procedió a georeferenciar utilizando el método de Convolución Cubica a partir de la cartografía existente (IGN Escala 1/100,000) posicionandola en el sistema de coordenadas UTM.
- Se tomo 28 puntos de control (GCPs) que fueron colectados de la carta topográfica de las cuales solo se consideran 14 puntos lo que genero un error cuadratico medio inferior a 4. Esta imagen fue remuestrada para pixeles de 12.5 m
- Para la eliminación del Speckle se uso filtros de Mediana, Lee, Frost, Kuan utilizando ventanas de diferentes tamaños, siendo él mas apropiado el de Frost.
- Los procesos anteriores se aplicaron sobre la imagen original de 16 bits. Posteriormente se usó el algoritmo de Scale para escalar la imagen de alta resolución a un canal de 8 bits.
- Con la imagen resultante se realizó el análisis del histograma respectivo a modo de expandir a 256 niveles de gris. Encontrándose el Aumento de Expansión Lineal fue el mejor adecuado a las características de la escena.

### ANALISIS :

Se ha podido apreciar que la información proporcionada por El sensor Activo (Radar) nos da la oportunidad de efectuar estudios en cuencas hidrológicas, Variación del Perfil Costero, Cambios Geomorfologicos(estratificación de suelos, tipos de rocas y determinación de minerales) las cuales al ser metaforizadas dan como producto la formación de arenas y sedimentos: etc. Todo esto afianza las conclusiones al conocer el tipo de roca y con el paso del tiempo y como producto de la meteorización nos da un suelo arenoso y/o arcillosos. Además estudios multitemporales combinándolas con Fotografías aéreas, Imágenes de Land Sat, Spot, etc.

Otra gran ventaja con respecto al sensor pasivo es que puede traspasar zonas densamente cubiertas por nubosidad tal como es el caso de zonas ecuatoriales y nuestra selva amazónica, siendo de gran ayuda desde el punto de vista logístico ya que permite mejorar los mapas de zonas inaccesibles ya sea por exceso de nubosidad y vegetación.

Otra aplicación de las imágenes de sensor pasivo (Spot, Landsat, Indsat etc.), en el campo de la variación del Perfil Costero es la determinación del sedimento.

## APLICACIÓN GEOLÓGICA DE USO DE IMAGEN RADARSAT:

Zona de Estudio:

- Ilo (Ciudad) - Punta Coles
- Punta Coles-Pampa de Palo
- Pampa de Palo - Punta San Pablo

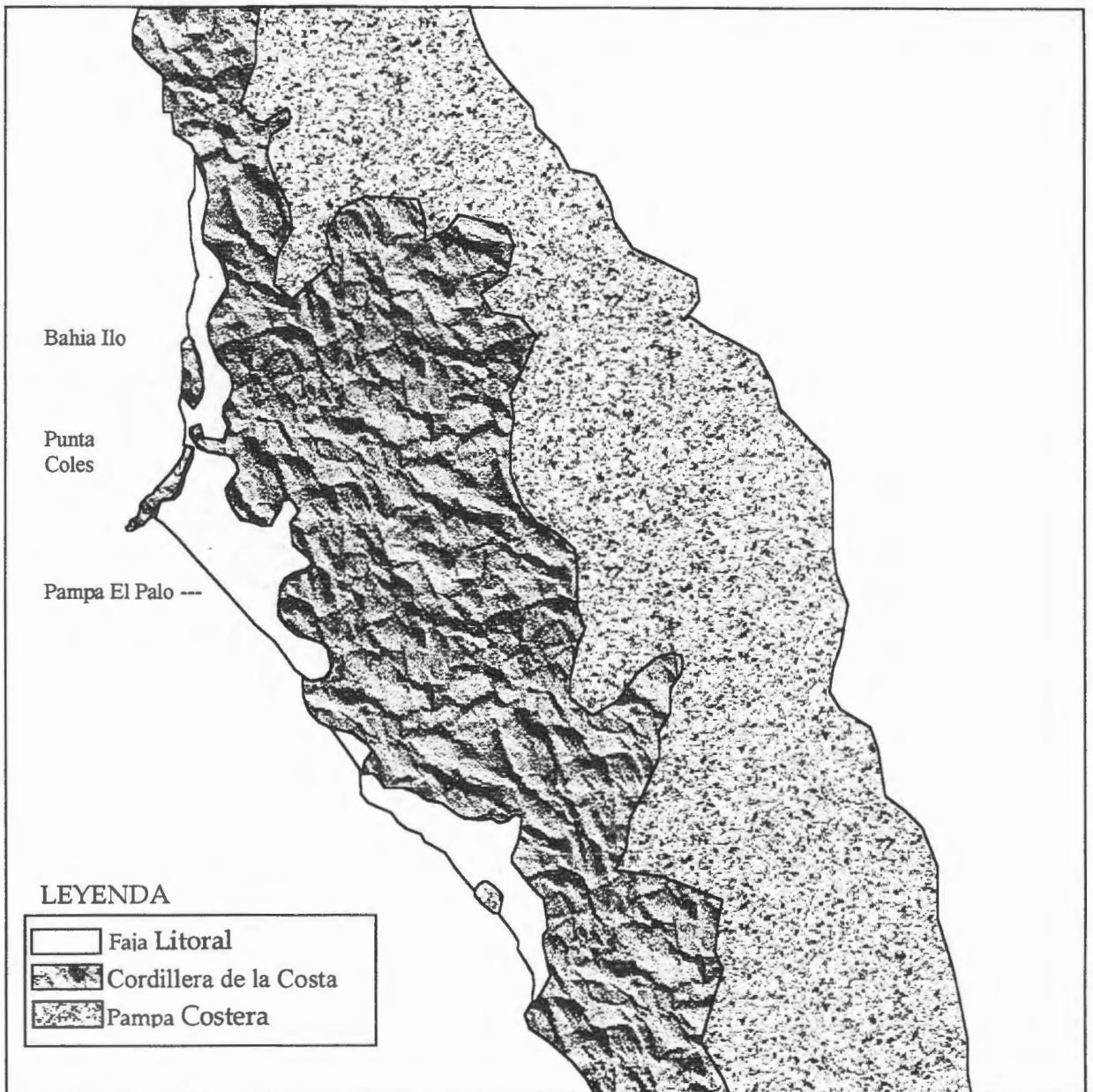


FIG. 04 MAPA GEOMORFOLOGICO

Después del procesamiento básico y del levantamiento de información de la zona motivo de estudio, se procedió a interpretar, analizar y correlacionar la información obtenida in situ, con la observada en la imagen, de lo cual podemos concluir que:

### Ilo (Ciudad) - Punta Coles:

Como se observa, los terrenos adyacentes a la rívera están conformados por rocas intrucivas que afloran en forma de bancos y acantilados bajos limados por acción de las olas, no hay formación de playas debido al tipo de roca, en cambio se nota algunos trechos donde los abanicos aluviales llegan hasta la orilla del mar.

El perfil del litoral en este sector es irregular, presentando algunas entrantes y salientes que se prolongan mar afuera en forma de peñascos, siendo como rasgo más saltante, una saliente que avanza varios kilómetros en el océano constituyendo la llamada Punta Coles.

**Punta Coles - Pampa de Palo:**

Al sur de Punta Coles se observa una terraza marina de aproximadamente 20 Km de longitud conocida como Pampa de Palo, la que esta conformada por conglomerados, Arena conchifera y banco de Coquina. Esta terraza constituye un tablazo horizontal que se extiende con anchos variables de 1 a 2 Km, comienza en la orilla del mar con una escarpa de 25 m de altura y termina al pie de las lomadas de pampa Mostazal v Meca Chica.

**IMAGEN DE RADAR PUNTA COLES JULIO DE 1997  
PUERTO ILO COSTA SUR DEL PERU**



-  Río ILO
-  Zona de dispersion SS.
-  Zona Urbana
-  Puerto de ILO
-  Red vial
-  Zona de playa



Fig. 05, Elaboracion Mapa Tematico (Usando Imagen Radarsat y Fotografias Aereas Zona Punta Coles)

**Pampa de Palo - Punta San Pablo:**

En este tramo se muestra la desembocadura del río Locumba donde se observan 2 terrazas aluviales, la terraza superior es la pampa de Ite y la terraza inferior del litoral, más al sur el perfil de la terraza

inferior el litoral presenta suelos salientes que corresponden a las estrabaciones Igneas de la cordillera de la costa, mas hacia el sur hay zonas formadas por depositos semierosionados de las terrazas y abanicos aluviales.

### CONCLUSIONES:

- 1  El proceso de georeferenciación nos permite hacer uso de varios métodos de los cuales se escogió el de Convolución Cubica por ser uno de los más precisos y más idóneos para este tipo de imágenes.
- 2  La ausencia de playas en la Zona de Ilo es debido al tipo de roca (intrusiva), prevaleciendo bancos y acantilados los que son limados por la acción del oleaje y las pequeñas playas son producto a la intrusión de conos aluviales (Desembocadura del río Ilo).
- 3  En la imagen se observa un Tablazo llamado Pampa El Palo (sur de Punta Coles), el que esta conformado por coquina, arena conchuela y conglomerados, esta tiene aproximadamente 20 Km, con un ancho que varia 1 a 2 Km de terraza.
- 4  Variación temporal del perfil usando cartografía, Fotos aéreas y imagen radar. Se aprecia hay una pequeña variación en la Bahía de Ilo debido a la configuración Geomorfológica existente y en otros casos por el cono de deyección del río.
- 5  La imagen Radarsat nos permite determinar, previos realces apropiados: las fallas, los drenajes, los tipos de rocas y poder elaborar mapas temáticos donde se aprecie la geomorfología de una zona en particular.
- 6  La variación de las dos Imágenes Radarsat de julio de 1997 y febrero de 1998, es casi nula debido a que en la parte media y alta de la cuenca en el periodo de lluvias, el fenómeno del niño no ha tenido ningún precedente ya que el punto de estudio esta situado al sur de nuestro territorio.

### BIBLIOGRAFIA

- 1  Pautas Para el Manejo de los Recursos Costeros.  
Publicación N° 2 Sobre Manejos de Costas. Serie de Información Sobre Recursos Renovables.  
Samuel C. Snedaker. Charles D. Getter  
Research Planning Institute, Inc. USA – 1985
- 2  Fotogeología y Cartografía por Zonas  
J. A. E. Allum / Paraninfo S. A. Madrid 1978
- 3  Guía de Practicas Hidrológicas Volumen I (Adquisición y Proceso de Datos), Volumen II (análisis, Predicción y Otras Aplicaciones) Organización Meteorológica Mundial N° 168  
Ginebra – Suiza 1986  
Research Planning Institute, Inc. USA – 1985.
- (4) Environmental Effects of Mine Tailings Discharged Into the Coastal Zone Near Ite,  
Peru 1986 Dames y Moore

# **Aplicaciones de Imágenes RADARSAT en el Estudio de Cobertura Nival y Pronóstico de Caudales Proyecto Chile-3**

**Martín Farías(1), Verónica Pozo(2) y Fernando Escobar(2)**

(1)Centro de Percepción Remota y SIG, Pontificia Universidad Católica de Chile.

E-Mail: mfarías@sas.puc.cl

(2)Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas

## **RESUMEN**

Se muestran los resultados de la incorporación de imágenes RADARSAT, captadas en otoño e invierno australes de 1997, en estudios de estimación de Cobertura Nival que han incluido otros sensores remotos y datos de terreno. La investigación para un segundo objetivo, Pronóstico de Caudales, se desarrollará con imágenes que se obtendrán durante la primavera y verano respectivos de 1998.

Se propone una metodología de procesamiento de imágenes RADARSAT, incluyendo algunas modificaciones a procedimientos desarrollados por otros investigadores, especialmente en la discriminación de nieve seca. La comparación con imágenes NOAA entrega alrededor de un 80% de coincidencia y mediante el análisis del relieve del área de estudio y de la cobertura del suelo de las distintas fechas, se discuten las causas de las diferencias entre estos sensores remotos.

Se presenta además, la determinación de áreas de nieve húmeda y de zonas donde la nieve se ha derretido, factores fundamentales para el segundo objetivo.

## **Introducción**

Desde el año 1993, el Centro de Percepción Remota y SIG y la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas de Chile, han venido incorporando la utilización de Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográficos en el Sistema Hidrométrico Nacional. Es así que imágenes LANDSAT-TM han sido utilizadas para el estudio de glaciares e imágenes NOAA-AVHRR para observar la cobertura nival y sus variaciones (1). El propósito del sistema es entregar pronósticos oportunos de disponibilidad de agua, especialmente en los meses de primavera y verano. Los mencionados pronósticos se distribuyen a agricultores, empresas de agua potable, hidroeléctricas, mineras y a la comunidad en general.

Diferentes investigadores (2,3) han estudiado las propiedades de la nieve y hielo, además de sus relaciones con la capacidad de datos de radar de distintas características tecnológicas en la determinación de cobertura nival y sus variaciones, con propósitos de mejorar los pronósticos de deshielo. Todos los resultados han coincidido en la gran utilidad que prestan estos datos para discriminar nieve húmeda y también todos concuerdan en las inmensas o casi totales dificultades para realizar lo mismo con nieve seca (4).

La posibilidad de contar con datos producidos por radares de apertura sintética (SAR) es cada vez de mayor número y frecuencia y es así que en la actualidad varios satélites tales como los transbordadores espaciales (SIR-C, X-SAR), los europeos ERS, el canadiense RADARSAT y otros, están produciendo imágenes que por la repetitividad hacen muy atractiva su incorporación en aplicaciones operacionales. Especialmente es destacable la capacidad casi total de penetrar la cobertura nubosa, aspecto limitante primordial en el uso de otros sensores remotos. Sin embargo también corresponde mencionar que el procesamiento de las imágenes SAR, para obtener información confiable, es bastante más complejo que el necesario para otro tipo de imágenes.

El presente estudio analiza la incorporación de imágenes RADARSAT, complementando otros sensores remotos y datos de terreno, con 2 objetivos: (1) Determinación de cobertura nival y (2) Estimación de las variaciones de dicha cobertura para los pronósticos. En este trabajo se entregan los resultados para el primer objetivo. Las imágenes RADARSAT para el segundo objetivo, se captarán recién durante la



temporada de deshielos de 1998, ya que para parte de la temporada respectiva de 1997 (septiembre-noviembre), el satélite estaba siendo utilizado exclusivamente para estudios de la NASA. Se presenta además la complementación de imágenes RADARSAT con imágenes NOAA-AVHRR y con datos de estaciones meteorológicas, describiendo el aporte de cada herramienta tecnológica utilizada, tanto para facilitar la interpretación de imágenes de radar como para la determinación de cobertura nival.

### Area de Estudio

El área de estudio (Figura 1) se sitúa en la zona central de Chile (paralelo 33°30' S, meridiano 70°15' O) y corresponde al sector superior de la hoya hidrográfica del río Maipo (5.743 km<sup>2</sup>). Este sector montañoso andino se caracteriza por altitudes de 1.000 a 6.500 metros con escasa cubierta vegetal natural y de baja actividad agrícola (5). La hoya abastece de recursos hídricos al 40% de la población total del país. De ahí la importancia de realizar estudios que entreguen la mayor cantidad de antecedentes, para una mejor planificación del recurso.

En esta zona existe un comportamiento con máximos nivo-pluviales durante los fríos meses de invierno y máximos de deshielo durante los meses de calor y sequía. La precipitación media anual de la cuenca fluctúa entre los 500 y 1.500 mm. anuales y las temperaturas medias extremas varían entre los 14°C y los 0°C. Con respecto a la línea de nieve, en invierno se encuentra alrededor de los 2.100 metros de altitud y en primavera alcanza a valores medios de 3.000 metros de altitud.

Es necesario destacar que el estudio se realizó en presencia del fenómeno El Niño, alterando las condiciones climáticas típicas de la cuenca. Esto se ha manifestado en un superavit de precipitaciones caídas en forma de nieve y agua, el que corresponde a un 250% con respecto al año normal. Esta situación se presenta después de una sequía de 5 años.

El relieve del área, casi sin zonas planas, con la mayoría de las pendientes en el rango de 20° a 40° y con gran porcentaje de exposiciones mirando al oeste, se transforma en el aspecto más relevante en la utilización de tecnologías de radar.

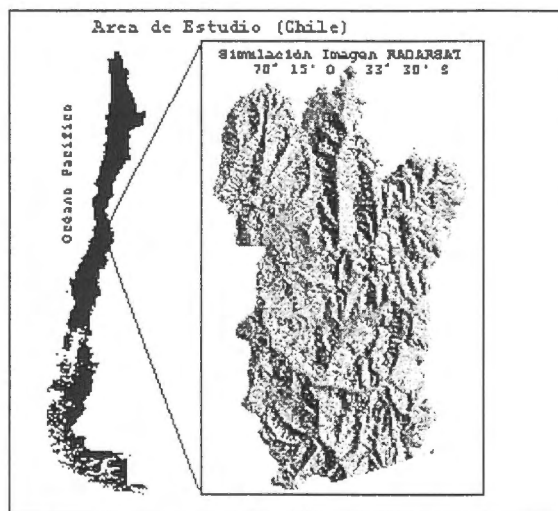


Fig 1. Area de Estudio según simulación imagen Radarsat

### Datos de terreno, Imágenes y Metodología

**Relieve de la Zona.** Para los posteriores análisis de la incidencia del relieve en las imágenes RADARSAT se clasificó el área de estudio en 8 rangos de exposición de 45° de azimut cada uno centrados con respecto a la visión del radar (cuadro 1). Debido a que para estas imágenes la inclinación de la dirección de avance del satélite es 343°, el azimut fijado como central fue 253°. También se clasificó el área en 10 rangos de pendiente de 5° cada uno siendo el último rango para pendientes sobre 45°.

Identificador	Exposición (° Az)	Identificador	Pendiente (°)
100	275.5 - 230.5	1	0- 5
200	320.5 - 275.5	2	5 - 10
300	230.5 - 185.5	3	10 -15
400	5.5 - 320.5	4	15 - 20
500	185.5 - 140.5	5	20 - 25
600	50.5 - 5.5	6	25 - 30
700	140.5 - 95.5	7	30 - 35
800	95.5 50.5	8	35 - 40
		9	40 - 45
		10	> 45

**Cuadro 1.** Clasificación de Exposiciones y Pendientes

## 2) Datos de terreno

Se utilizaron datos de 5 estaciones meteorológicas y de 1 ruta de nieve que se encuentran dentro del área de estudio o en las proximidades. Los datos de 5 estaciones pluviométricas se utilizarán para el segundo objetivo.

En marzo del año 1997 se producen las primeras precipitaciones, éstas ocurrieron en los días 21 y 22 de marzo con 15,5 y 2,5 mm respectivamente, registradas en la estación Embalse el Yeso (2.300 mts de altitud), siendo las únicas antes de la toma de la primera imagen, correspondiente al 7 de abril. Con respecto a las temperaturas existentes en la zona entre el 4 y 10 de abril, éstas fluctuaron entre los 8,8°C y los 20°C. La ruta de nieve indicaba 0 mm de agua equivalente.

El mes de junio se caracterizó por ser uno de los más extremos del siglo en precipitaciones (461 mm) y para julio los días 11 y 12 precipitó 22 y 1,7 mm respectivamente. En relación a las temperaturas, éstas fluctuaron entre los -3°C y los 1°C para el día 12 y a la hora de la imagen fue de -2,0°C. La ruta de nieve, para el 17 de julio, indicaba 579 mm de agua equivalente y la humedad relativa de 98%.

Para la imagen del 29 de agosto, precipitó 132 mm los días previos y después de la imagen, entre los días 30 y 31, otros 80 mm. En relación a las temperaturas, éstas se presentan más altas que en el mes anterior, siendo la mínima de 0°C y la máxima de 10°C para los días 26 de agosto y 1 de septiembre. La temperatura a la hora de la imagen era 5° C y la humedad relativa 80%. Para este mismo día la ruta de nieve indicaba 569 mm de agua equivalente.

## 3) Imágenes NOAA-AVHRR.

Se procesaron imágenes NOAA-AVHRR con propósitos de efectuar un seguimiento, entre enero y agosto, de la cobertura nival, vegetación y de temperaturas brillantes de la zona de estudio. Por condiciones de nubosidad sobre la zona, no se logró obtener imágenes NOAA los mismos días en que se captaron las RADARSAT. Sin embargo, siempre se logró dentro de 1 día de diferencia. Esta diferencia se consideró aceptable para propósito de comparaciones entre imágenes. Para ésto, el tamaño de pixel de NOAA se redimensionó a 250 metros.

## 4) Imágenes Radarsat

En el estudio realizado se usaron 3 imágenes RADARSAT captadas durante 1997, del modo W3 (espacio entre pixeles de 12,5 mts y ángulos de 39° a 45°), con pasos satelitales ascendentes, aproximadamente a las 19:30 hora local. Se eligió el 7 de abril como imagen de referencia para un escenario con mínima nieve, una imagen el 12 de julio y otra el 29 de agosto para determinar el máximo de nieve seca. Algunas de las imágenes no contenían parte del sector sur del área de estudio, por lo que la zona se redujo a 4.882 km<sup>2</sup>.

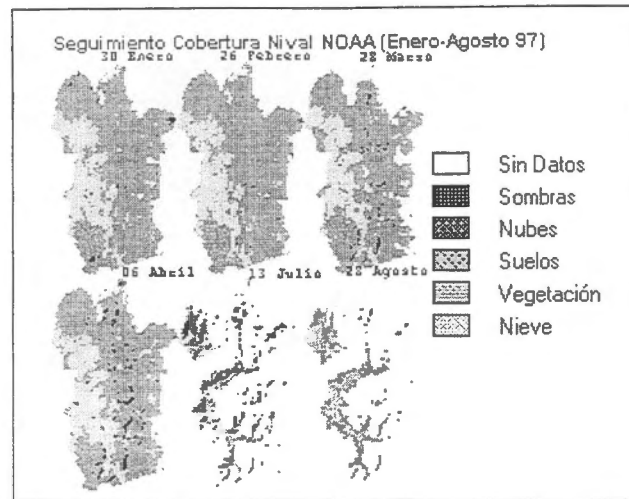


Fig 2. Seguimiento cobertura Nival NOAA

El procesamiento se realizó con el software PCI y para las imágenes RADARSAT se efectuaron los siguientes procesos:

**4.1) Correcciones Radiométricas.** No se realizó la corrección del patrón de antenna (APC) ya que venía efectuado. Utilizando el ángulo de incidencia por haz del radar (SARINC) los datos fueron convertidos a energía. Se eligió utilizar SARSIGMA y generar los datos en potencia (MODEL) pensando en que de esta forma se obtiene mayor sensibilidad en la detección de cambios. Con este último proceso se generaron imágenes de alrededor de 400 Mb. Tampoco se realizó la corrección por ángulo de incidencia local, ya que el proceso de detección de cambios minimiza este efecto cuando se trata de imágenes iguales en modo y dirección del paso satelital.

**4.2) Correcciones Geométricas.** Se generó una imagen simulada geocodificada (SARSIM2), que se muestra en la figura 1, para obtención de los mapas de inversión por relieve (layover) y sombras de radar (shadow). También se generó la imagen simulada para la orto-corrección y geocodificación (SARSIM1). El camino escogido con esta imagen, a través del programa SARGE0, es debido a las facilidades que presenta para buscar puntos de control (GCPWORKS) y la capacidad de procesar imágenes con modificación de tamaño de pixel o procesar sólo una parte de la imagen total.

Por razones de tiempo de procesamiento y capacidad del equipamiento utilizado, el espaciamiento entre celdas se modificó a 50 metros reduciendo considerablemente el tamaño de las imágenes. Este proceso se realizó con el programa IIIAVG, el que para reducir el número de celdas utiliza el promedio del valor temático de un grupo de ellas. También se produjeron imágenes con espaciamiento entre celdas de 250 metros para propósitos de comparación con imágenes NOAA.

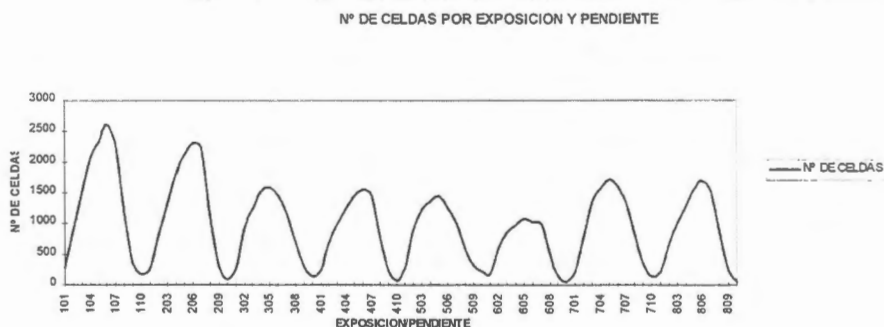
**4.3) Filtros de Reducción de Moteado (Speckle).** A pesar que con el proceso de modificación del tamaño de pixel que se utilizó, el moteado se redujo, esta reducción no fué suficiente. Se investigó el efecto de los filtros FROST, AVERAGE, MEDIAN, GAMMA y KUAN con diferentes tamaños de ventana. Debido al proceso que se utilizó para modificación de tamaño de pixel (promedio), el efecto de los filtros adaptativos (GAMMA y KUAN) fue casi nulo, ya que los datos fueron sacados de la distribución GAMMA. Finalmente se decidió optar por un filtro AVERAGE7x7 ya que a juicio de los autores eliminaba el moteado y no afectaba de manera importante la resolución espacial ni la separación temática. Otra razón para esta elección es el objetivo de determinar áreas homogéneas (cobertura nival).

**4.4) Detección de Cambios.** Para el estudio de cambio entre imágenes se utilizó el programa CHDET, el que considera una escala logarítmica del resultado de una DIVISION entre imágenes, además de un filtraje de los datos de salida. Los filtros posibles son AVERAGE y KUAN con diferentes tamaños de ventana. Con el propósito de obtener áreas homogéneas, los mejores resultados se obtuvieron con KUAN11\*11.



**Fig 3.** Detección de Cambio Julio - Agosto

Para efectos de clasificación se consideró que todos aquellos cambios mayores a +1 decibel correspondían a nieve.



**Gráfico 1.** Número de Celdas por Pendiente y Exposición

### Resultados y Discusión

- 1) **Relieve de la Zona.** En el gráfico 1 se muestra la cantidad de celdas de acuerdo al relieve. En éste, queda de manifiesto que la mayor cantidad de celdas, en cada rango de exposición, se encuentra en pendientes de 20° a 40°. Con respecto a las exposiciones, existe un mayor número de celdas en las exposiciones hacia la visión del satélite, las exposiciones intermedias son las de menor cantidad de celdas, mientras que las laderas opuestas a la visión del satélite poseen una cantidad intermedia de celdas. Esto refleja claramente que esta área de estudio está mirando hacia el oeste.
- 2) **Cantidad de Energía Recibida.** El gráfico 2 conteniendo la energía captada, expresada en potencia, demuestra que en todas las imágenes el aspecto relevante es el relieve de la zona y la mínima diferencia entre imágenes, revela el casi nulo aporte temático o de cobertura del suelo. Las exposiciones hacia la visión del satélite son las de mayor aporte y dentro de los tres primeros rangos de exposición, la pendiente juega un papel fundamental. En las exposiciones intermedias se atenúa considerablemente el efecto de las pendientes, mientras que en las exposiciones opuestas a la visión del satélite la influencia de las pendientes casi desaparece.



**Gráfico 2.** Potencia abril , julio, agosto v/s Exposición y Pendiente

Por otra parte, tomando el caso de abril la comparación en sectores con nieve determinados con NOAA, no muestra ningún rasgo consistente en las imágenes de radar, por el contrario, en esas zonas la diferencias son muchas y parecidas a cualquier otro sector en que no hay nieve. Lo mismo sucede tomando individualmente los casos de julio y agosto en que los sectores con nieve NOAA son la mayoría del área de estudio.

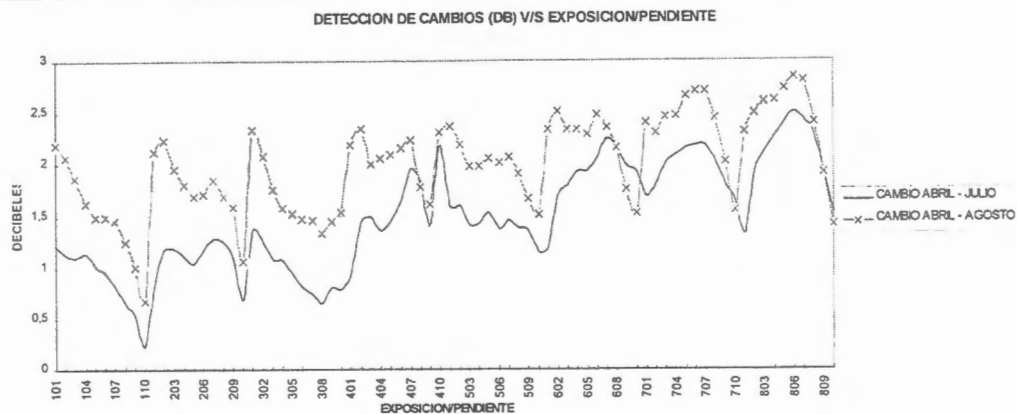
**3) Detección de Cambios.** El proceso de detección de cambios si nos muestra importantes cifras de comparación entre las imágenes RADARSAT de fechas distintas. El gráfico 3 conteniendo la detección de cambios expresado en decibeles, para abril-julio y abril-agosto, revela una importante distorsión al revisar sus resultados. Para las exposiciones hacia la visión del satélite, en sectores de baja energía captada, nos entrega un gran valor y en sectores de alta energía, por el contrario, nos entrega un resultado de bajo valor. Este proceso está basado en una división entre imágenes, en donde cifras como 40/20 y 0.02/0.01 generan un mismo resultado. La mencionada distorsión se va atenuando en la medida en que las exposiciones van cambiando hacia las laderas opuestas a la visión del satélite, pero permanece para las pendientes más altas posiblemente por efecto de sombras de radar.

Es necesario entonces, encontrar una compensación para esta distorsión tan importante. En este estudio los autores incorporaron al proceso la resta entre imágenes, corrigiendo parte del problema y facilitando el posterior proceso de discriminación de nieve.

**4) Clasificación de Nieve y Comparación con NOAA.** Una vez incorporada la simple modificación de considerar la resta entre imágenes, se aplicó la clasificación de nieve de acuerdo a la metodología propuesta anteriormente y se comparó con la imagen nieve NOAA respectiva. Se eliminaron todos aquellos sectores en que en abril había nieve y en donde para NOAA existían nubes y sombras. Cabe recordar que para este estudio, la distancia inter-pixel de RADARSAT fue modificada a 50 metros y 250 metros. La resolución espacial de NOAA original (1km) fue modificada a 250 metros. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

**4.1) Abril-Julio.** La correlación cruzada entre ambas imágenes fue de 79.8% de coincidencia, 18.6% en donde NOAA mostraba nieve y RADARSAT no y 1.6% en donde RADARSAT mostraba nieve y NOAA no. En el análisis de los sectores que no coincidían se encontraron 3 patrones claros. El primero trata de explicar el 1.6% y son los sectores de valles en que la resolución espacial de NOAA no alcanza a detectar la nieve. Los otros 2 patrones tratan de explicar el 18.6%. Uno de ellos se caracteriza por estar en sectores con exposición hacia la visión del satélite y con pendientes entre 25° y 40°, tendiendo a desaparecer para las otras exposiciones. El otro patrón se caracteriza por estar en sectores de pendientes bajo 15° sin importar la exposición. Buscando explicación a estos errores se hizo una resta entre la imagen simulada geocodificada y cada una de las RADARSAT, encontrando en todos los resultados uno de los patrones mencionados. La explicación del otro patrón se encontró en la imagen NOAA de vegetación de abril. Para esa imagen, en casi los mismos sectores de baja pendiente existía vegetación.





**Gráfico 3.** Detección de Cambios (db) v/s Exposición y Pendiente

**4.2) Abril-Agosto.** Los resultados en este caso fueron 85.9% de coincidencia, 11.4% en donde NOAA mostraba nieve y RADARSAT no y 2.7% en donde RADARSAT mostraba nieve y NOAA no. Los patrones y sectores de error del caso anterior se mantienen disminuyendo su intensidad para el primer patrón de diferencias y aumentando su intensidad para el segundo y el tercero.

**4.3) Julio-Agosto.** Esta detección de cambios entregó importantes resultados que se utilizarán en objetivo de Pronóstico de Deshielos. Nitidamente se aprecian, durante el período considerado, no sólo las zonas en que la nieve se humedeció y aquellas en donde el estado de la nieve no ha cambiado, sino también en forma muy clara los sectores en donde la nieve desapareció. Este último aspecto puede deberse a que el derretimiento de nieve produjo una tremenda humedad en los suelos.

### Conclusiones y Recomendaciones

El estudio para el primer objetivo generó las siguientes conclusiones:

Una sola imagen RADARSAT aporta información nula para la determinación de cobertura nival, ya que el ángulo de incidencia local es el factor preponderante en el área de estudio, anulando casi por completo el efecto temático.

El proceso de detección de cambios sobre-estima el cambio en las zonas desde donde se recibe baja energía y sub-estima el cambio en las zonas desde donde se recibe alta energía.

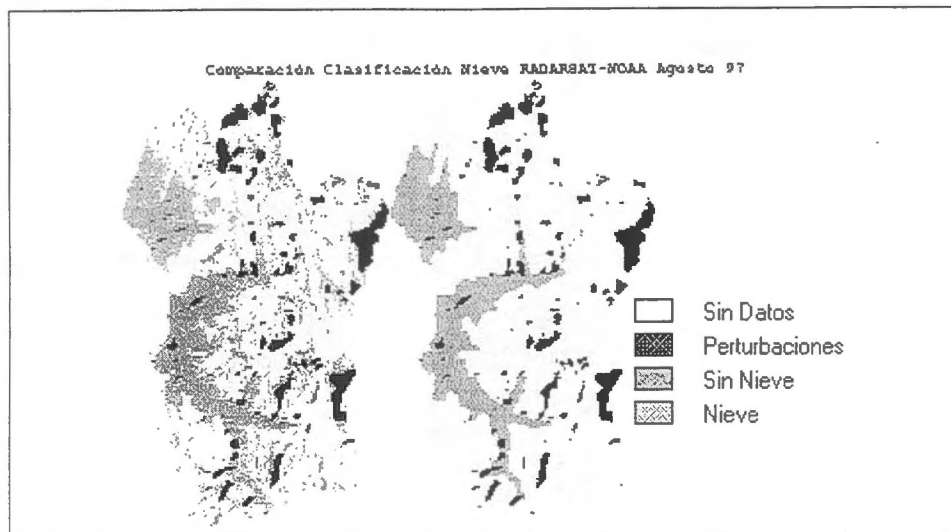
Se sugiere incorporar la RESTA de energía al proceso de detección de cambios o realizar correcciones por el ángulo de incidencia local.

Incorporando la resta de energía, el proceso de detección de cambios abril-julio muestra un 79.8% de coincidencia para la discriminación de nieve entre RADARSAT y NOAA. Para abril-agosto la coincidencia es de 85.9%.

El proceso de detección de cambios entre julio y agosto entrega un resultado adicional. Se delimitan claramente no sólo las nieves seca y húmeda sino también las zonas donde la nieve se derritió entre estas fechas y por lo tanto se aprecia nitidamente la línea de nieve para agosto. Este resultado es fundamental para la realización del segundo objetivo, es decir, Pronósticos de Deshielo.

Las imágenes de vegetación generadas con NOAA posibilitan aclarar dudas si el valor de los cambios RADARSAT entre fechas son exclusivamente debido a cubrimiento del suelo por nieve o debido a otro efecto.

Las imágenes de temperatura brillante generadas con NOAA ayudan a comprender las zonas en que se producen cambios de nieve seca a nieve húmeda



**Fig. 4** Clasificaciones de nieve RADARSAT y NOAA Agosto 1997

**Bibliografía**

- 1) Escobar Fdo. & Farías M., 1995, Uso de Técnicas de Sensores Remotos y S.I.G. en la Red Hidrográfica Nacional. Chile. Tomos I y II. DGA, Ministerio de Obras Públicas.
- 2) Rott H. & Nagler T., 1994, Capabilities of ERS-1 SAR for snow and glacier monitoring in alpine areas. Proceedings Second ERS-1 Symposium, Germany. Pp 965-970.
- 3) Wankiewicz A., 1995. Rocky mountain snowmelt on tallus slopes by radar satellite. Canadian Journal of Remote Sensing/Journal canadien de télédétection Vol 22 N° 1. Canada Pp 77 -94
- 4) Nagler T. Methods and Analysis of Synthetic Aperture Radar Data from ERS-1 and X-SAR for Snow and X-SAR for Snow and Glacier Applications. Innsbruck, September 1996. Austria. Pp 183.
- 5) Borgel R. Geografía de Chile., IGM, VOL II Geomorfología. 1983, Chile.

# ENHANCEMENTS AND APPLICATIONS OF RADARSAT SATELLITE IMAGES

MIRTA A. RAED (1), JORGE M. GARI (2),

JULIO JACOBO BERLLES (3), ALICIA SEDEÑO (4), LUCIANO DELISE (6),

EDUARDO VICINI (6), LUIS SANCHEZ (6), JAVIER YEBRIN (5)

(1) Centro Sensores Remotos F.A.A./ Universidad Nacional de Luján, Dpto de Cs. Básicas  
(PRODITEL)

(2) Centro Sensores Remotos F.A.A./ Dpto de Aeronáutica, Univ. Tecnológica Nacional  
(3) Dpto de Computación, Univ. Nacional de Buenos Aires

(4) Centro Sensores Remotos F.A.A./ Dpto de Ciencias Básicas, Univ. Nacional de Buenos Aires  
(5) Dpto de Aeronáutica, Univ. Tecnológica Nacional

(6) Centro Sensores Remotos F.A.A. / Dorrego 4018 / Buenos Aires / ARGENTINA

Tel : 51-01-772-5108 FAX : 51-01- 771-5801

Email : censenrem@faa.mil.ar

## INTRODUCTION

As active remote sensing systems, radar systems operate independently of weather as well as lightning conditions. Synthetic Aperture Radar ( RADARSAT ) images are increasingly used in remote sensing applications on geology, forestry , sea ice discrimination and land use investigations.

These digital systems are very useful to gather natural resource knowledge and thus to preserve its environment. There are two RADARSAT images: S1 and S7 that belong to SANTA CRUZ area, in the south of Argentina, where glacier area can be differentiated from water bodies, forest, snow on top of mountains, bare rocks and soil. It is necessary to correct each image with a DEM (Digital Elevation Model) file which helps to distinguish each natural resource from the others.

## OBJECTIVES

An interactive procedure is going to be evaluated, using unsupervised clustering algorithm to develop training statistics sets for discriminating soil moisture, sediments on water, ice surface on water and on ground, on images located on Santa Cruz Province, on South of Argentina.

Besides it is important to complete this study with different unsupervised and supervised classification methods to settle down the ones that best fit ground and environmental situation.

## STUDIED AREA

The south of Argentina, located below the Colorado River, is characterized by crystalline basement.

This Andean Region is characterized by Cenozoic mountainous chaining where Patagonian ice and lake surface are present. As this region is characterized by cloudy, damp and cold climate, there is an important vegetative development.

Besides another important application to be taken into account in this image is the study of outlet glaciers placed in the Southern Patagonia Icefield, in order to determine their drainage and accumulation and ablation areas.

## IMAGE DATA PROCESSING

As it is well known, in the microwave spectral range, RADARSAT is used for change detection and monitoring by means of multi-incidence angle digital analysis, so the objective of this study is to evaluate change detection techniques using multi-incidence angle microwave satellite data to identify available natural characteristics, over a spot of South Argentina area.

The software used to process these images is PCI ; it has been provided by Canada Centre for Remote Sensing.

The unsupervised classification method is used to estimate the possible number of spectral classes in each particular situation, and so this studied area may be divided into the same number of distinct unimodal groups. So this kind of clustering procedures are applied in many data analysis fields to determine inherent data structures.

By measuring and mapping the backscattered energy, RADARSAT images provide information about the surface state of a target. This feature is expressed by a rich presence of texture information in RADARSAT images. For this reason another important band is the one that takes into account texture, which is a very valuable feature in classifying radar images. Thus, attempts on the automatic processing and interpretation of RADARSAT images are often focused on texture analysis including the extraction of textural information, textural filtering and texture classification.

As Santa Cruz image is in C band, it is necessary to overlap another texture bands by measuring and mapping the backscattered energy of RADARSAT image in order to provide information about the surface state region.

It is very important to have the possibility of taking into account the effect of incidence angle, in near data time just to observe differences on ground target without radar influence.

The FEB 15 S7 image containing the PERITO MORENO GLACIER area is selected as the first one to be classified supervisedly, including three different bands: first Enhanced Lee Adaptive Filtering, second Mean Texture and third Standard Deviation Texture. The different resources that are present on this image are better differentiated than FEB 21 S1 image because this first image has mayor angle of incidence. But while analysing Confusion matrix and Separability matrix (TABLE I), it is possible to observe that the standard deviation of each selected training area is too high to get a good correlation between ground truth and digital data.

TABLE I

SIGSEP Classifier Signature Separability V6.1 EASI/PACE 09:11 24-OCT-97  
Separability Measure: Bhattacharyya Distance

Signature Segments: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9,  
10, 12, 13, 14

Signature Channels: 1, 2, 3

Average Separability: 1.45460  
Minimum Separability: 0.11509  
Maximum Separability: 1.99844

Signature Pair with Minimum Separability: ( 9, 10)

Separability Matrix:

	2	3	4	5	6	7	8	9
3	0.19491							
4	0.70721	1.15072						
5	1.99190	1.99357	1.98818					
6	1.98191	1.98641	1.97071	1.34053				
7	1.99797	1.99844	1.99688	0.47546	0.94715			
8	1.99234	1.99470	1.98499	1.64589	0.29541	1.51053		

9| 1.99280 1.99444 1.98906 0.78850 0.54323 0.18554 1.17007  
 10| 1.96101 1.96873 1.94511 0.83493 0.45866 0.41050 0.96211 0.11509  
 12| 1.84659 1.90615 1.59732 1.95973 1.81577 1.97931 1.78473 1.94058  
 13| 1.70078 1.81655 1.29140 1.96764 1.86944 1.98568 1.86793 1.95692  
 14| 1.98116 1.98501 1.97267 1.05996 0.33013 0.56198 0.72251 0.47754

10 12 13  
 +-----  
 12| 1.82257  
 13| 1.85416 0.13671  
 14| 0.59497 1.85773 1.89431

CONFUSION MATRIX

\_\_\_\_Areas\_\_\_\_ \_\_\_\_Percent Pixels Classified by Code\_\_\_\_

Name	Code	Pixels	0	1	2	3	4	6
CLASS001	1	7480	2.70	7.57	5.51	59.28	24.57	0.37
CLASS002	2	10119	3.69	7.48	8.60	38.66	36.69	4.88
CLASS006	3	9559	1.65	5.75	3.67	66.70	22.13	0.09
CLASS003	4	6881	0.78	3.36	3.01	21.20	40.14	31.51
CLASS005	6	9553	0.01	0.05	0.25	0.03	7.40	92.25

Average accuracy = 43.05 %  
 Overall accuracy = 44.47 %

KAPPA COEFFICIENT = 0.30780 Standard Deviation = 0.00285

Confidence Level :  
 99% 0.30780 +/- 0.00736  
 95% 0.30780 +/- 0.00559  
 90% 0.30780 +/- 0.00470

Later on the FEB 21 image has been classified with the same three bands, but in this case all the included training areas belong to glacier area. Observing separability matrix some supposed homogenous training areas appear as confused as in the previous image. The standard deviation of each cluster is too high, comparing its respective mean value, (TABLE II).

TABLE II

SIGSEP Classifier Signature Separability V6.1 EASI/PACE 14:38 26-NOV-97  
 Separability Measure: Bhattacharrya Distance

Signature Segments: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9,  
 10

Signature Channels: 1, 2, 3

Average Separability: 0.85106  
 Minimum Separability: 0.09737  
 Maximum Separability: 1.82683

Signature Pair with Minimum Separability: ( 2, 6)

Separability Matrix:

	2	3	4	5	6	7	8	9
3	1.82683							
4	1.37292	0.43497						
5	1.58222	0.72363	0.37997					
6	0.09737	1.75427	1.17859	1.41155				
7	1.57277	0.29275	0.21301	0.17744	1.43997			
8	0.78166	1.16612	0.35585	0.54158	0.52909	0.63567		
9	1.38584	0.83897	0.26474	0.91703	1.20403	0.73587	0.53814	
10	1.14959	1.18836	0.67650	0.27111	0.97155	0.54690	0.39621	1.08492



Just to fit actually image data different training areas have been chosen in order to classify with the minimum error, but in any case at last the results are unsuccessful, because when the classified images are seen it is possible to observe a good quantity of level stages on glacier area but this same areas appeared classified on other environmental resources that are present on the zone, such as forest, rock, bare soil, water bodies, etc. (FIGURE I and II).

It is noted here that ice from glaciers drags sediments from the side of the mountains which form darker lines on their surface called "morenas".

On the other hand it is observed, on a TM subarea of the same PERITO MORENO GLACIER, which is classified using the same training areas than in RADARSAT image, that the Perito Moreno has several ice levels, but these clusters do not appear on other homogenous areas such as forest, rock, bare soil, water body. Moreover if one compares the Separability and Confusion Matrix, (TABLE III), of TM data and RADARSAT data, one can appreciate high differentiation among classes in TM data.

TABLE III

1  
SIGSEP Classifier Signature Separability V6.2 EASI/PACE 12:26 15-APR-98  
Separability Measure: Bhattacharyya Distance

Signature Segments: 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25

Signature Channels: 1, 2, 3, 4, 5, 7

Average Separability: 1.93169  
Minimum Separability: 0.99615  
Maximum Separability: 2.00000

Signature Pair with Minimum Separability: ( 23, 25)

Separability Matrix:

	18	19	20	21	22	23	24
19	2.00000						
20	2.00000	1.98253					
21	2.00000	1.99692	1.61536				
22	2.00000	2.00000	2.00000	2.00000			
23	2.00000	2.00000	2.00000	2.00000	1.99960		
24	1.99999	2.00000	2.00000	2.00000	2.00000	1.78541	
25	2.00000	2.00000	2.00000	2.00000	1.99547	0.99615	1.71582

Due to all the problems that the authors have observed while trying to correlate ground truth and digital RADARSAT data it is necessary to enhance RADARSAT data to arrive to a good differentiation of the glaciatic area through microwave digital data. Although RADARSAT data are relatively calibrated, under the assumption of sensor stability, calibration is very necessary for applications that relate actual radar cross section to physical target criteria.

The scaling used can vary for each scene making it difficult to directly relate information between scenes, for example radiometric and temporal signatures. So it has been applied a methodology to convert RADARSAT digital information data into radar brightness, in amplitude, and then georeferenced in UTM zones and their corresponding degree coverages.

In this way SAR image has been corrected for incidence angle dependent illumination variations where the digital data are projected to ground range. As RADARSAT data has uniform brightness the data from one image acquired on one date, FEB 15, can be compared to another on a later date FEB 21 .

Radar produces images with an oblique perspective, that is to say that the transmitted pulses interact with the terrain at increasing distances from the antenna. The Slant Range is the line of the sight between the radar and each reflected surface element, while Ground Range is the actual distance on the ground. So a methodology is implemented to convert input eliminating geometric distortions in the range direction, including a DEM file, which is used to register the image data in order to get a more accurate ground representation of areas of uneven terrain. Then a supervised classification completes all these new methodologies and helps to discriminate digitally actual environmental resources on ground.

When applying this methodology in calibrated georeferenced FEB 15 image there are problems with the designed DEM file . The DEM file has been handily done as a 8 bit. tif image from a geographical map with GAUSS - KRUGGER coordinates and height lines with 50 meter error. It is supposed that there have been problems in the reprojection to UTM coordinates and /or the format digital interpretation inside PCI acceptance.

## CONCLUSIONS

Post classification change detection differencing method is important after multispectral digital data sets have been independently classified and then compared on a pixel by pixel basis, or polygon by polygon basis for each cluster. In this way it is possible to compare standardized classification procedures to get homogenous clusters in order to fit digital image data with ground truth.

But one important factor to take into account is that the designed training areas have different digital values in accordance with the chosen pixels in each same place. This is a very important factor to show that in this place each area is very heterogeneous and so it is very difficult to associate to a definite cluster.

All differences between the remote sensing classification and the ground truth are due to classification or delineation error, due to the effect of uneven terrain that only can be corrected with the overlapping of a DEM file.

The references say that at fairly large angles of incidence the H polarized backscattered Bragg power is notably weaker than the V polarized one.

One of the first, preliminary conclusions is that at large angles there is better differentiation between water bodies and ice surface.

The wind velocity is not a single parameter determining the backscatter. Its nature is different for different polarizations.

It has been analysed that H scattering is isotropic under the calm, but it is highly anisotropic even at moderate winds.

Maxfield determined, in a given place, snow cover from SPOT and Landsat images, but satellite radar images underestimate snow cover by about 23%, but it has the advantage of regular coverage through cloud cover. Consequently an optimum monitoring scheme for arctic areas would be to obtain frequent radar observations and to calibrate these using a visible band image from SPOT, Landsat TM or airphoto acquisition.

Maxfield observed backscatter variations of 16 different tallus slopes representing a variety of elevations, directions and slopes.

The computed wet-snow area using a winter standard may underestimate snow area at the wet snow / bare ground transition, if mixed pixels make up a significant proportion of a target area,

that is the reason why two summer RADARSAT images have been chosen to discriminate environmental resources.

Baghdadi concluded that ERS 1 Sar data, as well as, in the future RADARSAT have great potential for the monitoring and mapping of wet snow cover, because backscattering properties of snow, derived from ERS 1 data, show considerable temporal variation.

It is possible to distinguish between dry snow and wet snow. The backscatter is relatively high for dry snow, or snow free surfaces (-10dB), whereas the backscatter can be 3dB lower for wet snow.

These images are going to be used for forestry inventory that will bring very important economics growth in the South of Argentina. This study will be completed with DEM of the same area.

## REFERENCES

- Anlya, M., Sato, H., Naruse, R., Skvarca, P., Casassa, G., "The Use of Satellite and Airborne Imagery to inventory Outlet Glaciers of the Southern Patagonia Icefield, South America, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol62, No12, December 1996, pp1361-1369.
- Congalton, Russell, et al , 1993, A PRACTICAL LOOK .
- Haralick, R., Shanmugam, K., Dinstein, I., "Textural Features for Image Classification, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol.SMC 3, 6, 11, 1973.
- Maxfield, A.W., Marsh, P., Pomeroy, J.W., Quinton, W.L., "Arctic Snow and Soil Observations by Radar Satellite", Applications of Remote Sensing in Hidrology, NASA, October 1996.
- Maxfield, A.W., "Rocky Mountain Snowmelt on Tallus slopes by Radar Satellite", Canadien Journal of Remote Sensing, Vol.22, Number 1, March 1995.
- Raed, M., Frulla, L., Gagliardini, A., "Detección de Cambios en la Isla Marambio Mediante Imágenes SAR / ERS-1, Revista SELPER, Vol 11 N°1-2, Mar-jun, 1995.

## ACNOWLEDGMENTS

The authors wish to thank Canada Centre for Remote Sensing, through its GlobeSAR-2 Program, for their participation in this important Symposium and the possibility to share results with international scientific community.

Specials thanks to Lic. Jorge Kimsa who belongs to "Centro de Sensores Remotos", for the DEM file development of the studied area.

The authors are also grateful with "Comisión Nacional de Actividades Espaciales" for providing the TM images, through Falda del Carmen Argentine Processing Station.

## FIGURES



MAP OF PERITO MORENO GLACIER AREA

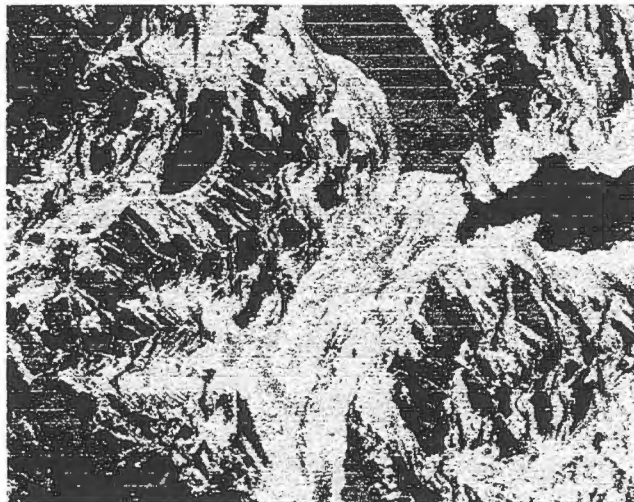


FIGURE 1 (Radarsat Supervised Classification-FEB15)

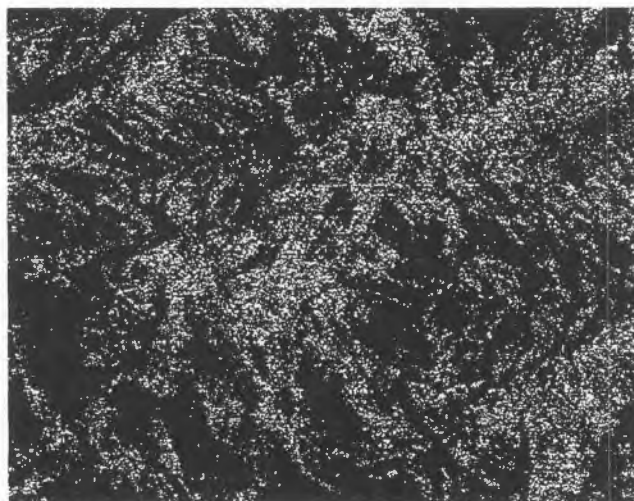


FIGURE 2 (Radarsat Supervised Classification-FEB21)

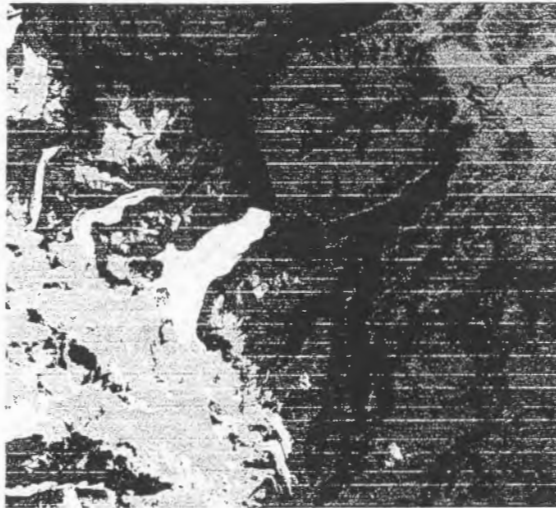


FIGURE 3 (TM Supervised Classification-MAR17)



# Preliminary Evaluation of Radarsat Fine Mode Image to Map Linear Features in Area of Hydrocarbon Microseepage, Tucano Basin, Brazil (GlobeSAR-2, Project Brazil - 15)

## Raimundo Almeida Filho

National Institute for Space Research-INPE  
São José dos Campos -SP, Brazil  
tel. 55-123-456478 fax. 55-123-456488  
e-mail: rai@ltid.inpe.br

## Fernando P. de Miranda

Petrobras/CENPES  
Ilha do Fundão, Q-7, Rio de Janeiro-RJ, Brazil  
tel. 55-215-986442 fax. 55-215-986441  
e-mail: fmiranda@cenpes.petrobras.com.br

### ABSTRACT

This paper discusses preliminary results of using Radarsat fine mode image to map linear features associated with faults and fractures, which may constitute paths for the migration of hydrocarbon to the surface, in the Tucano basin, Northeastern Brazil. After speckle removal and geometric correction, visual interpretation of a linear contrast stretched image permitted to map several photogeologic lineaments concentrated in areas with hydrocarbon microseepage anomalous targets, previously identified through a geochemistry soil gas survey. It was very difficult to confirm the geologic nature of the interpreted lineaments during field check due to the widespread presence of regolith. However, in some places it was possible to confirm the presence of fractures and faults related to the lineaments. Preliminary results show that the high resolution Radarsat fine mode image is a powerful tool to map linear features related to fractures and faults, even in an area of flat topography. Structural interpretation integrated with geochemistry data, permitted to outline a preliminary model to explain the distribution of microseepage in the study area.

### Introduction

The microseepage phenomenon results from the upward migration of hydrocarbon and associated fluids through the rocks overlaying oil/gas deposits, along their micro and macroscopic planes of weaknesses. Presence of faults and fractures in areas of hydrocarbon microseepage has permitted to use remote sensing data in oil/gas exploration (e. g. McCoy et al, 1986; Pauken et al., 1986; Mello et al., 1996). The ability of radar imagery to highlight linear features makes these remote sensing data of particular interest in this kind of study.

In the present study we evaluate a high resolution Radarsat fine mode image to map lineaments (fractures and/or faults) in the region of Tonã plateau, Tucano basin, where several microseepage areas have already been identified. The term *lineament* is here used as proposed by O'Leary et al. (1976), to designate "a mappable, simple or composite linear feature of the surface, (...) which presumably reflects a subsurface phenomenon".

### Study Area

The study area (Figure 1) is located in Northeastern Brazil. It has a semiarid climate with average annual precipitation under 500 mm. The vegetation is constituted by a dry savanna-like cover ("Caatinga"), characterized by small trees with profusion of thin stems and reduced number of leaves.

The Tucano basin is part of the Recôncavo-Tucano-Jatobá rift, a series of elongated half grabens, about 600 km long by 90 km wide, formed during the early stages of the South Atlantic opening in Early Cretaceous (Milani & Davison, 1988). Sedimentary sequences in the rift comprise lacustrine and deltaic shales and sandstones, followed by fluvial sandstones of the Early Cretaceous. These sequences are unconformably covered by Aptian fluvial and alluvial sandstones and siltstones of the Marizal Formation. Outcrops of these post-rift rocks in the study area consist of weathered and oxidized fine-grained quartzose whitish-to-reddish sandstones with cross-stratification and current marks. Albian (?) marine calcilutites with intercalation of cherty limestones, constitute the Tonã plateau (Almeida Filho, 1997). Either Tonã plateau or surrounding area has a flat to gentle topography, with widespread whitish to brownish sandy soils.

As part of a regional exploration program, the Brazilian Oil Co. (Petrobras) carried out a geochemistry soil gas survey in the northern part of the Tucano basin, with 633 sample points for methane, ethane, propane, butane and pentane, in a surveyed area of approximately 1,300 km<sup>2</sup> (Babinski *et al.*, 1993). Heavy hydrocarbon content (ethane to pentane) yielded an arithmetic mean value of 4.98 ppm, which was assumed as the regional background (methane was not included due to its possible biogenic origin). Figure 2 is the contour map showing the distribution of heavy hydrocarbon content (above the background level) in the study area. According to these data, several hydrocarbon microseepage anomalous targets occur mainly surrounding the Tonã plateau.

### Image Processing

In this study we used an ascending Radarsat (C-band, HH polarization) fine mode image (F2), acquired on May 20th, 1997, under an incidence angle of approximately 40° and resolution of 10 meters.

In order to reduce speckle noise, several adaptive and non-adaptive despeckling filters were tested. The best results, in terms of minimum loss of textural information and preserving edges, were obtained with a gamma filter with window of 5 by 5 pixels. After reducing from 16-bit to 8-bit, the image was referenced to the Universal Transverse Mercator coordinate system, through a least squares first-degree polynomial rectification algorithm based on control points extracted from a topographic map (1:100,000 scale), yielding an accuracy equivalent to 0.7 pixel. Final enhancement of the image for visual interpretation involved the application of linear contrast stretch. As ascending orbit images show appearance of inverted topography, the image was multiplied by minus 1, in order to recover the actual topographic aspect of the area.

### Data Interpretation

Figure 3 shows the contrast stretched Radarsat fine mode image of the study area (multiplied by minus 1). The Tonã plateau is the south-to-north elongated topographic feature in the western border of the image.

Interpreted lineaments, assumed as representing fractures lines and faults, are superimposed on the same image, in Figure 4. It was very difficult to confirm the geologic nature of the interpreted lineaments during field check, due to the widespread presence of regolith in the area. However, in a few places it was possible to confirm the presence of fractures and faults related to the photointerpreted lineaments.

Analysis of the radar image also permitted to identify a circular feature in central part of the Tonã plateau. Based on preliminary field data, this circular feature is probably a collapse structure resulting from the dissolution of underlain carbonate rocks in the Tonã plateau.

As showed in Figure 4, the region of the Tonã plateau has a higher density of lineament compared with the rest of the study area. Comparison with Figure 5 shows a very good spatial correspondence between the distribution of lineaments and anomalous areas of hydrocarbon microseepage. According to our interpretation these lineaments, representing fractures lines and faults, constituted the primary conduits for the migration of hydrocarbon and associated fluids to the surface.

Most of the gas soil anomalies are distributed along the border zones of the Tonã plateau. This fact suggest that the cherty limestones that constitute the plateau work as an effective seal to prevent the vertical migration of the fluids, which escaped in the contact zone with the soft sandstones of the Marizal Formation. Only one soil gas anomaly occurs over the Tonã plateau, just in the center of the circular collapsed structure mentioned previously. In this particular case, the collapse phenomenon seams to disturb the cherty limestone seal, allowing the vertical migration of the hydrocarbon in that site. These facts suggest that the hydrocarbon reservoir responsible for microseepage areas is located just under the Tonã plateau.

#### Conclusions

Preliminary results showed that the high resolution Radarsat fine mode image is a powerful tool to map linear features associated with fracture lines and faults, even in an area of flat topography. These features constituted paths for the migration of hydrocarbon to the surface. Structural interpretation suggests that the distribution of soil gas anomalies in the Tonã plateau conforms a combined lithologic/structural control.

#### Acknowledgments

The author wish to thank the Canada Center for Remote Sensing (CCRS), the Radarsat International Inc.(RSI), and the Canadian International Development Agency (CIDA) for providing the Radarsat imagery for this study, as well as opportunities to share discussions and scientific results with our international colleagues of the GlobeSAR-2 Program. Support from National Institute for Space Research (INPE) and Brazilian Oil Co.(PETROBRAS) has also been very important.

#### References

- Almeida Filho, R. *Sensoriamento remoto integrado com dados multifontes no estudo de áreas de microexsudação de hidrocarbonetos, na bacia Tucano Norte, Bahia.* Relatório FAPESP, Processo 96/46351-5. Unpublished Report, 1997, 57p.
- Babinski, N. A., Santos, R. C. R., Bueno, G. V., Guimarães, M. F., Freire, A. F. M., Gouveia, C. A. S., Almeida, M. F. and Volpan, A. G., 1993, *Prospecção geoquímica*

- de superfície (gasometria e microbiologia de petróleo) na bacia de Tucano Norte.* Relatório CENPES/SINTEP/MCT, 650-15.106, 15 p. Rio de Janeiro.
- McCoy, R. M., Hovertz, M. J., Clem, K., Brandt, C. & Young, S. Association among lineaments, subsurface fractures, hydrocarbon microseepage, and production in the Uinta Basin, Utah. 5th Thematic Conference Remote Sensing for Exploration Geology. *Proceedings*, vol. 1, pp. 117-130, Reno, 1986.
- Mello, M. R., Gonçalves, F. T., Babinski, N. A. & Miranda, F. P. Hydrocarbon prospecting in the Amazon rain forest: application of surface geochemical, microbiological, and remote sensing methods. In Schumacher, D. & Abrams, M. A. *Hydrocarbon migration and its near-surface expression*. AAPG Memoir 66, Chapter 31, p. 401-412., 1996.
- Milani, E. J. and Davison, I., 1988, Basement control and transfer tectonics in the Recôncavo-Tucano-Jatobá Rift, Northeast Brazil. *Tectonophysics*, **154**, 41-70.
- O'Leary, D. W., Friedman, J. D. & Pohn, H. A. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. *Geological Society of America Bulletin*, **87**:1463-1469, 1976.
- Pauken, R. J. ; Griffith, J. H. & Halsey, J. H. Fractures patterns and production trends, Big Sandy Field, eastern Kentucky. 5th Thematic Conference Remote Sensing for Exploration Geology. *Proceedings*, vol. 1, pp. 193-216, Reno, 1986.

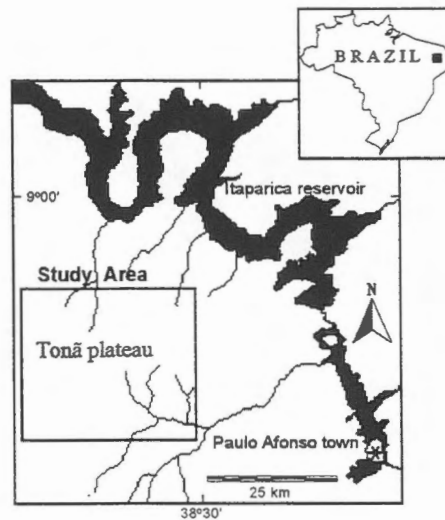
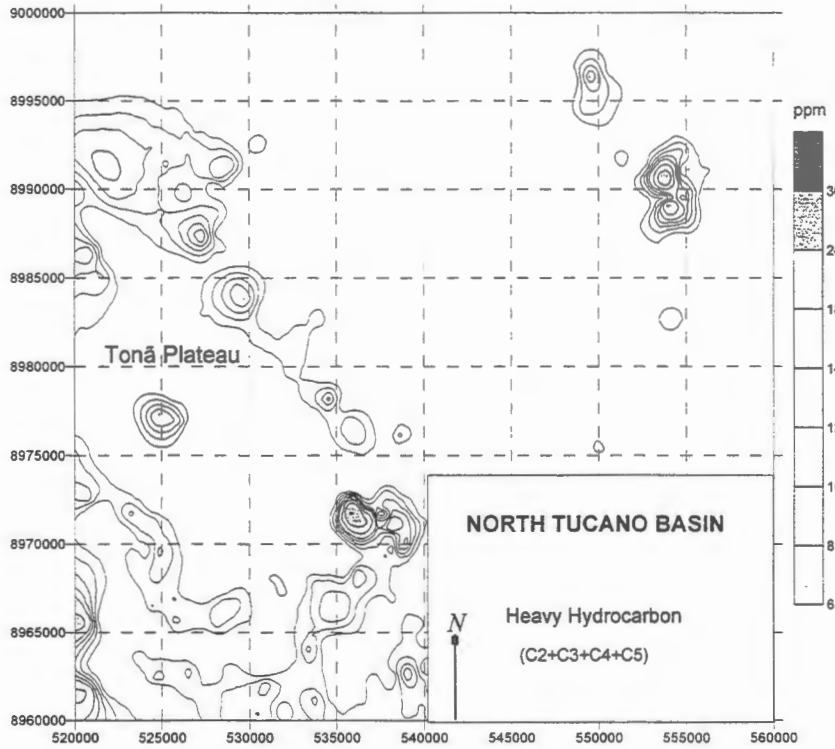
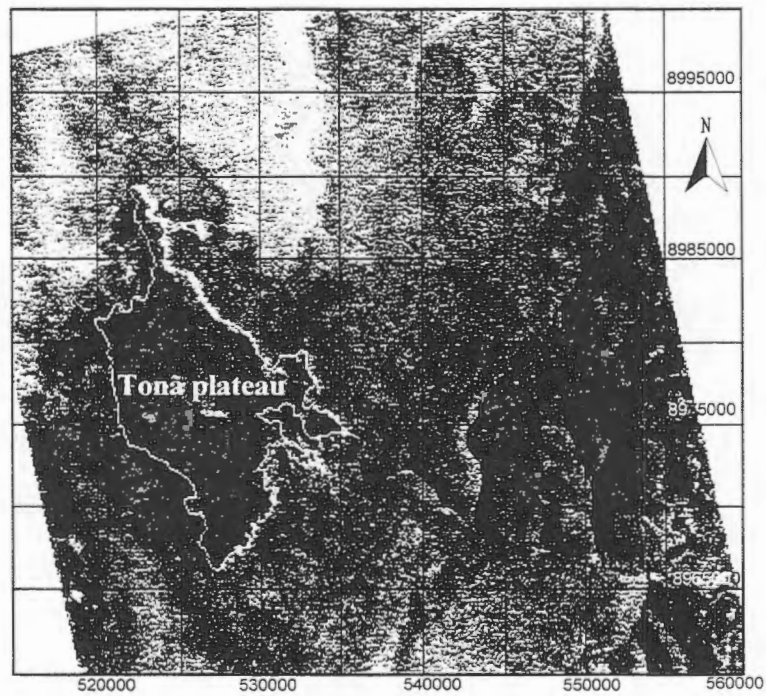


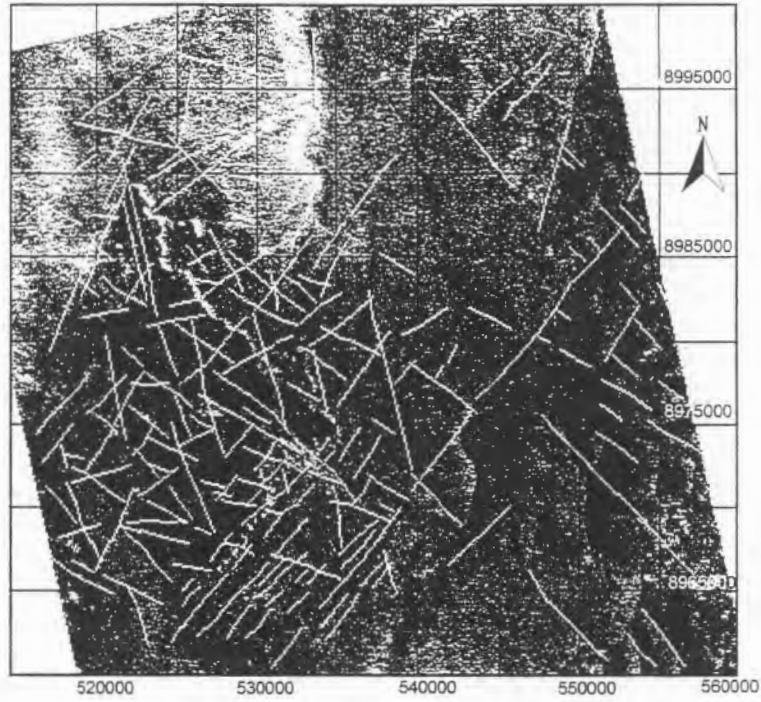
Figure 1. Location of the study area.



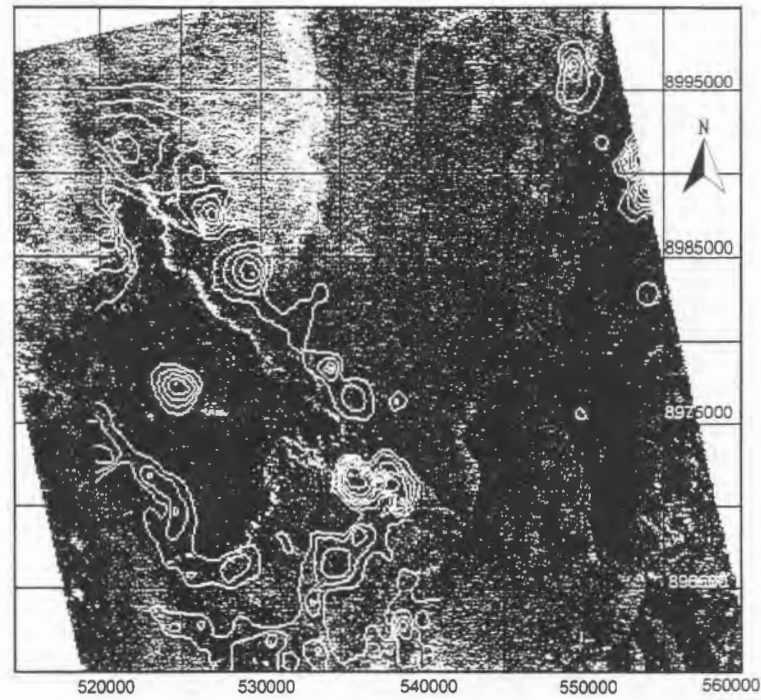
**Figure 2. Contour map showing distribution of heavy hydrocarbon content in the study area.**



**Figure 3. Contrast stretched Radarsat fine mode image (multiplied by minus 1) enhancing the Tonã plateau.**



**Figure 4. Radarsat image and interpreted lineaments.**



**Figure 5. Radarsat image and anomalous areas of hydrocarbon microseepage.**



# UTILIZACION DE LAS IMÁGENES DE RADARSAT Y LANDSAT TM EN LA CARTOGRAFIA GEOLOGICA Y GEOMORFOLOGICA DE LA REGION ANDINA DE COLOMBIA

**Domingo Mendivelso López**  
Instituto Geográfico Agustín Codazzi  
Carrera 30 No 48-51, Bogotá, Colombia  
Tel.: 3683666 Fax 3681047  
Email: dmendive@igac.gov.co

## RESUMEN

El Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) en colaboración con el Centro Canadiense de Sensores Remotos (CCRS), adelantan trabajos de investigación de carácter multidisciplinario en desarrollo del Proyecto GLOBESAR, con el propósito de probar la utilidad y potencial de aplicación de las imágenes de RADARSAT en la cartografía temática.

El área se encuentra localizada al norte de Bogotá sobre el eje de la cordillera Oriental de Colombia, en la región Andina, comprendida entre los 2000 y 3600 m.s.n.m., cubriendo un área de 10.000 km<sup>2</sup>, sobre un sector conocido como el Altiplano Cundi-boyacense.

Se utilizaron dos imágenes de RADARSAT estereoscópicas, en los Modos Estándar S2 y S5, órbitas ascendentes, tomadas en mayo 16 y 26 de 1997. Dos imágenes en Modo Fino F4 y F5, órbitas ascendente y descendente, tomadas el 19 y 26 de mayo de 1997 y Una imagen LANDSAT TM Path 08 Row 56, Cuadrante 4 de 1994.

La región presenta fuertes cambios de relieve, extensas y potentes secuencias estratigráficas de rocas sedimentarias del Cretáceo, Terciario y depósitos Cuaternarios. Se observan excelentes contrastes morfológicos expresados por la estratificación, los pliegues, fallas y lineamientos.

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos de la interpretación visual y digital llevada a cabo utilizando imágenes de RADARSAT, en los temas de geología y geomorfología.

La vista sinóptica y la estereoscopía lograda con las imágenes RADARSAT, en los modos S2 y S5, la mayor resolución obtenida en el modo fino F4 y F5 y el sinergismo con LANDSAT TM, facilitaron la delineación de rasgos y caracterización de procesos, los cuales fueron verificados mediante trabajos de campo.

Las imágenes de RADARSAT fueron excelentes para la delimitación de las diferentes unidades litológicas del Cretáceo, Terciario y los depósitos Cuaternarios. Definición clara de los ejes de sinclinales, anticlinales, fallas, fracturas y lineamientos principales, algunos de ellos identificados por primera vez como la falla de Fúquene de dirección Norte-Sur y el lineamiento principal de Chiquinquirá de dirección Oeste-Este. A nivel estratigráfico, se lograron identificar y seguir por muchos kilómetros las diferentes unidades guía formadas por areniscas de las formaciones más resistentes que se intercalan con las unidades arcillosas blandas. Se definieron con facilidad los rumbos y buzamientos de los estratos lo que facilitó la delimitación de las principales estructuras geológicas. Las imágenes fueron procesadas en la Estación de trabajo Alfa DEC 3000, utilizando el programa PCI con el módulo de RADAR, los mapas se digitalizaron con el programa AUTOCAD.

#### **Objetivos**

Probar la utilidad de las imágenes de RADARSAT en combinación con imágenes LANDSAT TM en las aplicaciones a la cartografía temática y en particular a la geología, geomorfología, de la región Andina de Colombia.

#### **Localización**

El área de estudio cubre 10.000 km<sup>2</sup> y se encuentra localizada sobre la Región Andina de Colombia, sobre la parte media de la cordillera Oriental de Colombia (**Figura 1**), ocupando la región conocida como el Altiplano Cundi-boyacense, caracterizado por presentar un relieve que varía desde montañoso y escarpado hasta ondulado y plano.

#### **Materiales y Equipos**

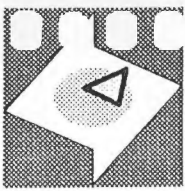
Se utilizaron mapas topográficos base a escala 1:100.000 del IGAC para transferir la información temática interpretada sobre las imágenes de RADARSAT y LANDSAT TM.

Se consultaron mapas temáticos existentes de geología, suelos, cobertura, uso de las tierras y erosión. Imágenes de RADARSAT en formato digital y copias en papel a escalas 1:250.000 estereoscópicas, Modos S5 de Mayo 26 de 1997, Modo S2 de mayo 16 de 1997, en órbita ascendente y espaciamiento entre píxeles de 80m.

Imágenes de Satélite LANDSAT TM en formato digital y copias en papel falso color y color verdadero utilizando el algoritmo de la transformada de BROWNEY a escalas 1:500.000. Registros fotográficos tomados durante la fase de trabajo de campo. En el procesamiento de las imágenes se utilizó el Software de PCI para Estación y en la digitalización de los mapas se utilizó el programas AUTOCAD.

#### **Metodología**

Revisión y recopilación de información existente tanto de las bases cartográficas como de la



# LOCALIZACION

- 46 -

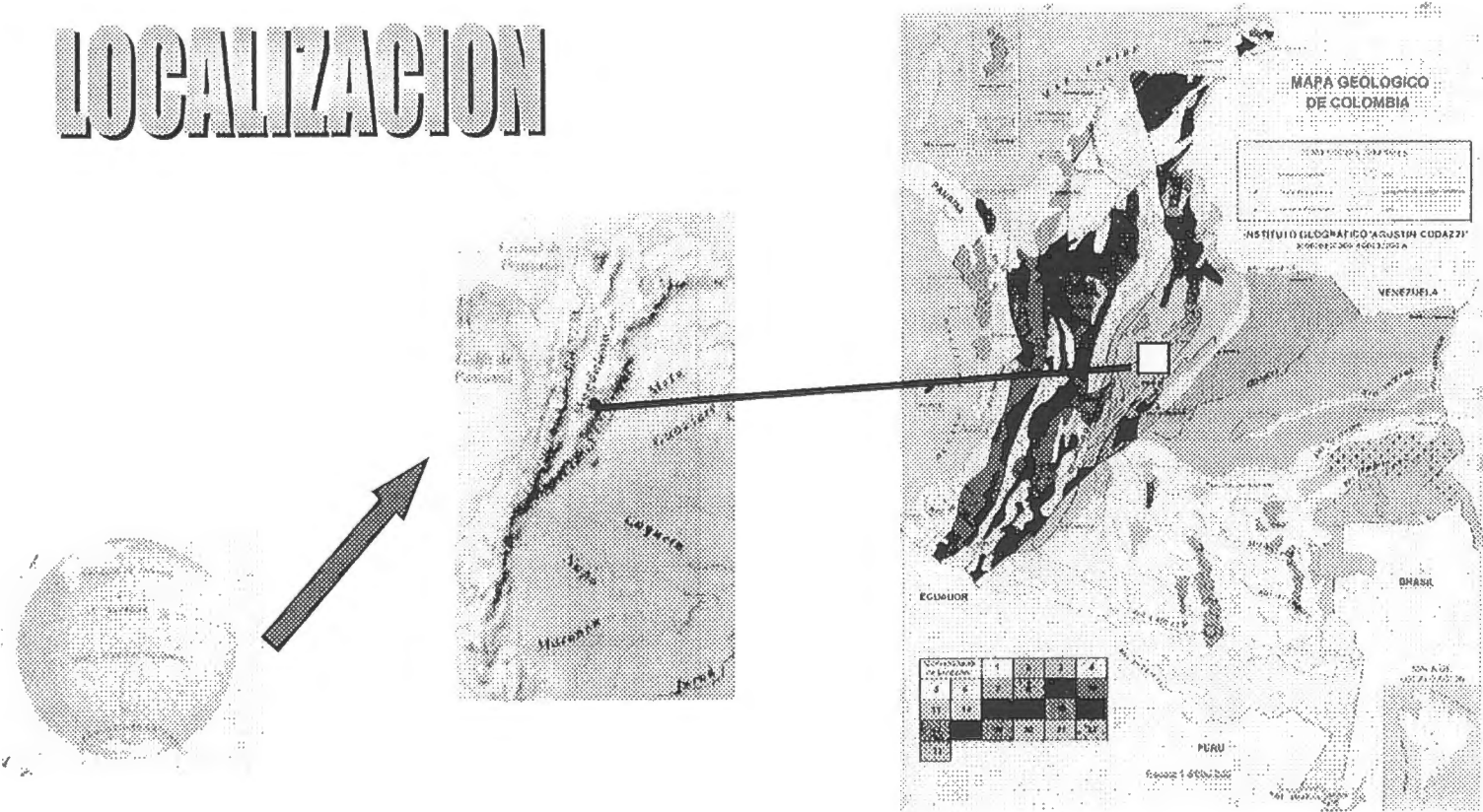


Figura 1 Mapa de localización del Area de Estudio

información temática disponible en el IGAC y otras instituciones. Adquisición y recepción de las imágenes por parte de RADARSAT y suministradas para el proyecto GLOBESAR de la región Andina en formatos análogo y digital. Mejoramiento de las imágenes mediante el uso de filtros para la reducción del especkle, corrección geométrica, realce de contraste, realce de bordes y georreferenciación.

Interpretación visual estereoscópica y digital de las imágenes de RADARSAT Y LANDSAT TM disponibles para el proyecto. Trabajos de verificación de campo para constatar la validés de las interpretaciones y coleccionar los datos no visibles sobre las imágenes, efectuando para ello descripciones litoestratigráficas, estructurales, geomorfológicas en relación con la génesis de las geoformas y procesos erosivos. Reinterpretación y ajuste de la información procesada e interpretada sobre las imágenes. Dibujo y digitalización de los mapas base y temáticos utilizados a diferentes escalas de trabajo y elaboración del informe para su presentación en el seminario Internacional llevado a cabo en la ciudad de Cartagena entre el 20 al 24 de Abril de 1998.

#### **Resultados**

De la interpretación visual estereoscópica de las imágenes de RADARSAT y monoscópica de LANDSAT TM, se obtuvieron los mapa análogo y digital de geología y geomorfología.

#### **Mapa Geológico**

Se obtuvo un mapa geológico a partir de la interpretación estereoscópica de las imágenes de Radarsat, modos S5 y S2 y verificados con trabajo de campo, complementados con los mapas existentes elaborados por INGEOMINAS. El mapa geológico derivado de la interpretación de una imagen monoscópica modo fino F4, (**figura 2**).

La interpretación visual fue basada principalmente en los elementos de la fotointerpretación como: contrastes morfológicos, drenaje, texturas, tonos y los cambios de pendiente, trazo del rumbo y buzamiento para definir los ejes de los pliegues, como de las secuencias estratigráficas, cuyos niveles resistentes se constituyen en los niveles guías para la correlación de las secuencias estratigráficas que conforman las estructuras mayores existentes en la región.

#### **Estratigrafía**

La estratificación de las rocas sedimentarias, constituye uno de los rasgos que presenta la mejor expresión sobre las imágenes de RADARSAT, las diferentes unidades litológicas son claramente diferenciables por su expresión morfológica positiva o negativa con respecto al entorno.

La columna estratigráfica esta conformada por rocas sedimentarias bien estratificadas,

plegadas y fracturadas durante la Orogenia Andina, ocurrida durante el Terciario superior cuando la cordillera Oriental fue levantada a la posición actual.

La geología del área de estudio esta representada por una potente secuencia de rocas sedimentarias de ambiente marino y continental desarrolladas durante el Cretáceo y Terciario. La sucesión esta representada por las siguientes formaciones y Grupos descritos desde las más antiguas a las mas jóvenes.

#### **Cretáceo Inferior**

Formación Arcabuco (Ko): Areniscas cuarzosas de grano fino a grueso . Formación Rosa Blanca: compuesta por limolitas arenosas y lutitas. Formación Ritoque (K1): Limolitas , lutitas y shales negros. Formación Paja (K2): Lutitas y limolitas negras, hacia la parte inferior y media concreciones calcáreas y películas de yeso.

#### **Cretáceo Medio**

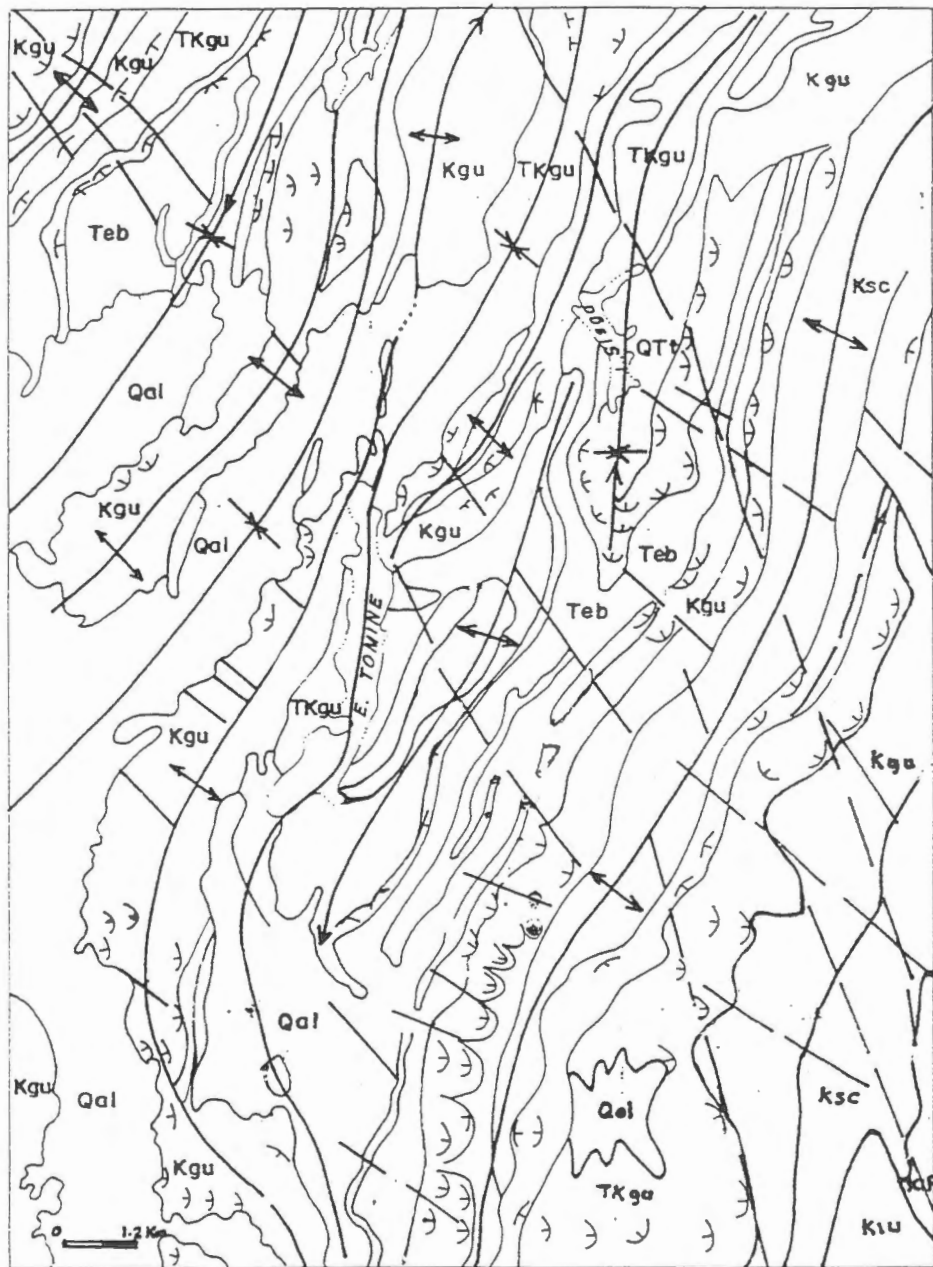
Formación San Gil Inferior (K4): Lutitas y limolitas grises oscuras, con intercalaciones de areniscas cuarzosas y lentejones de caliza. Formación San Gil Superior (K3): Limolitas silíceas grises a negras. Formación Chipaque (K5): Lutitas grises oscuras a negras con intercalaciones de limolitas micáceas y areniscas arcillosas de grano fino a medio.

#### **Cretáceo Superior**

Conformado por las formaciones Arenisca Dura, Fm Plaeners, Arenisca de Labor y Arenisca Tierna. Arenisca Dura (K7): Areniscas cuarzosas de grano fino con intercalaciones de arcillolitas. Formación Plaeners (K8): Limolitas silíceas, chert y areniscas cuarzosas de grano fino. Formación Arenisca de Labor (K9): Lutitas y limolitas negras con intercalaciones de areniscas de poco espesor . Arenisca Tierna: Areniscas cuarzosas, blancas macizas con intercalaciones de de lutitas grises.

#### **Terciario**

El Terciario representado por rocas depositadas en condiciones parálicas a lagunares en ambiente continental, bien estratificadas, plegadas y falladas, con excelentes contrastes de relieve y la topografía del terreno. Las formaciones del terciario están representadas por Formación Guaduas (T3): Arcillolitas abigarradas con intercalaciones de areniscas, hacia la parte inferior y media son frecuentes los mantos de carbón. Formación Arenisca del Cacho (T2): Areniscas cuarzosas de grano grueso a conglomerático con intercalaciones de arcillolitas rojas. Formación Bogotá (T1): Arcillolitas abigarradas con intercalaciones de areniscas arcillosas. Formación La Regadera: Areniscas cuarzosas de grano medio a grueso, localmente conglomerática con intercalaciones de arcillolitas.



**LEYENDA**

- |                                 |   |
|---------------------------------|---|
| Qal Depositos Coluvio-Aluviales | Kgu Fm. Guadalupe: Areniscas y Limolitas  |
| QTt Fm. Tilatá: Arenas y gravas | Ksc Fm. Chipaque: Arcillolitas y Lutitas  |
| Ter Fm. Regadera: Areniscas     | Kiu Fm. Une: Areniscas Cuarzosas          |
| Teb Fm. Bogotá: Arcillolitas    | Kif Fm. Fomeque: Arcillolitas y Limolitas |
| Tpc Fm. Eacho: Areniscas        |   |

**CONVENCIONES**

- |                      |                   |
|----------------------|-------------------|
| ↕ Eje Anticlinal     | — Contacto        |
| ↘ Eje Sinclinal      | - - - Lineamiento |
| ↗ Rumbo y buzamiento |                   |

Figura 4 Mapa Geológico



### **Depósitos Cuaternarios**

Los depósitos Cuaternarios (Q), más representativos de la región estudiada corresponde a acumulaciones de origen lacustre, fluvial, fluvio-glaciar y coluvial, localizados sobre diferentes lugares. Los depósitos Fluvio-lacustres: Localizados sobre las áreas planas y cóncavas, están representados por arcillas y limos depositados en las antiguas lagunas que ocupaban las depresiones formadas entre los pliegues anticlinales y sinclinales de la región

El depósito más extenso corresponde a la depresión ocupada por la laguna de Fúquene en los valles de Ubaté y Chiquinquirá, allí se destacan dichas áreas por sus características contrastantes respecto a las áreas adyacentes montañosas.

Depósitos Fluviales: Corresponden a las acumulaciones depositadas por los ríos mayores y sus afluentes que drenan las partes montañosas y posteriormente discurren por las partes bajas producto de la disección. Depósitos Fluvio-glaciares: acumulados como producto del movimiento de los glaciares que en el pleistoceno ocupaban la parte alta de la cordillera oriental y al descongelarse arrastraron con sígo grandes volúmenes de materiales que actualmente se les encuentra formando abanicos de piedemonte y/o terrazas altas como por ejemplo en los alrededores de Guasca. Depósitos Coluviales: Corresponden a los materiales acumulados como producto del transporte y acumulación por acción hidrogravitacional y que hoy en día se les encuentra como escombros en la base de los escarpes y laderas de moderada pendiente.

### **Rasgos Estructurales**

El área se caracteriza por presentar excelentes rasgos estructurales dejados como producto de la intensa actividad tectónica que afectó a las rocas de la cordillera oriental durante la Orogenia Andina. Se destacan en particular los pliegues y las fallas.

### **Pliegues**

Corresponden a las estructuras mejor desarrolladas sobre el ambiente de la Cordillera Oriental caracterizadas por presentar series monótonas de anticlinales y sinclinales desarrollados en rocas sedimentarias clásticas de grano fino y grueso que alternan formado relieves prominentes y depresiones amplias (**figura 4**). Sobre las imágenes se pudo determinar la posición del eje de las principales estructuras de tipo anticlinal y sinclinal que conforman un patrón repetitivo de geofomas abombadas y depresiones claramente visibles sobre las imágenes estereoscópicas.

### **Fallas**

Son los rasgos estructurales que al igual que los pliegues, presentan excelente expresión sobre

las imágenes de Radar, ya que corresponden a discontinuidades desarrolladas en la corteza y presentan un contraste morfológico neto, ya que en muchos casos dislocan y disturban la estratificación, mostrando cambios súbitos en los rumbos de los estratos y ejes de los pliegues.

Entre las fallas mayores que se destacan en forma nítida sobre las imágenes se encuentran los sistemas regionales de dirección NW-SE, como la falla de Chiquinquirá-Samacá, la falla de Cucunubá-Otanche, el sistema Neusa-Sisga. Los sistemas de dirección N-S representado por la falla de la Laguna de Fúquene (**Figura 2**), detectada por primera vez sobre las imágenes de RADARSAT. Adicionalmente se encuentran numerosos sistemas secundarios de fracturas y lineamientos, cuya expresión es claramente identificable sobre las imágenes de RADARSAT.

#### **Mapa Geomorfológico**

Basados en la interpretación de imágenes de RADARSAT, en modo fino F5, se efectuó una interpretación geomorfológica, donde se presentan excelentes contrastes desarrollados por las rocas sedimentarias de origen marino y continental que dominan la mayor parte de la cordillera Oriental de Colombia.

#### **Unidades de Origen Estructural**

Las geoformas existentes sobre la mayor parte del área de estudio corresponden a unidades de origen estructural y Estructural-denudacional, desarrolladas sobre rocas plegadas del Cretáceo y Terciario, sometidas a diferentes procesos de deformación y erosión como consecuencia de los levantamientos tectónicos y cambios climáticos ocurridos durante el Cuaternario, época durante la cual se desarrollaron la mayor parte de los depósitos fluvio-glaciares, fluvio-lacustres y fluviales encontrados en la región del Altiplano Cundi-Boyacense.

#### **Unidades de Origen Denudacional**

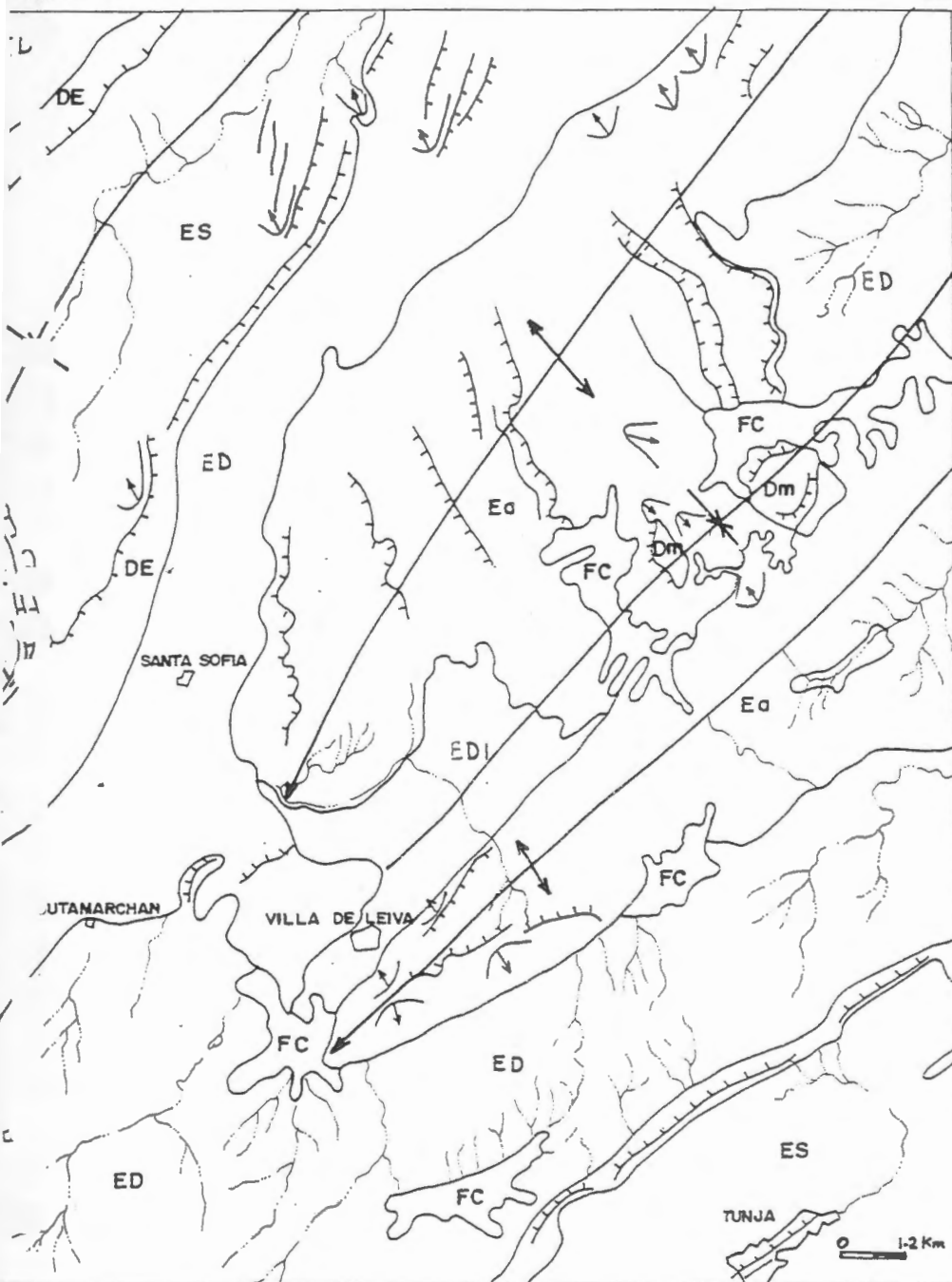
Sobre los sectores mas occidental y oriental se presentan unidades de origen denudacional producto de los procesos erosivos y disección de las rocas por agentes exógenos

#### **Unidades de Origen Estructural-Denudacional**

La mayor parte del área está desarrollada sobre unidades de origen estructural-denudacional, es decir por geoformas que han tenido un origen mixto, como resultado de los movimientos tectónicos que tuvieron lugar durante la Orogenia Andina y posteriormente fueron sometidas a fuertes procesos de erosión geológica dando como resultado las geoformas actuales.

#### **Unidades de Origen Fluvio-Coluvial**

Estas unidades presentan un buen contraste con respecto a las unidades estructurales y denudacionales adyacentes, ya que presentan relieve plano, textura lisa, tono mas oscuro y



**LEYENDA**

- FC U. Fluvio - Coluvial
- DE U. Escarpes
- ES U. Estructural
- Dm U. Mesas
- Ea U. Estructural
- Ed U. Denudacional
- EDI U. Estructural Denudacional
- ESI U. Estructural Denudacional
- ED U. Denudacional

**CONVENCIONES**

- Drenaje principal
- Ciudades
- Limite entre unidades
- Escarpe principal
- Pendiente estructural
- Eje Antidinal
- Eje Sindinal

Figura 3 Mapa Geomorfológico

generalmente están cubiertas por cultivos y pastos que contrastan con las áreas de bosques.

#### **Procesos y Rasgos Morfogenéticos**

Sobre las imágenes de RADARSAT, fue posible diferenciar rasgos geomorfológicos desarrollados como producto de la acción de procesos exógenos que labraron escarpes, rasgos erosivos y fuerte disección sobre las rocas, lo mismo que los depósitos dejados por los procesos de origen fluvial, lacustre y coluvial.

Basados en los contrastes morfológicos del terreno dados por las imágenes de RADARSAT y las diferencias de color aportados por las imágenes LANDSAT TM. Sobre las imágenes de RADARSAT y las imágenes LANDSAT, fue posible detectar y delinear los diferentes cuerpos de agua, aprovechando las diferencias de tono y color sobre las imágenes, adicionalmente se trazaron los sistemas de drenaje principal y secundario.

Los contrastes morfológicos del terreno y las diferencias de color mostrados por las imágenes LANDSAT, se lograron delinear las áreas que presentan los mayores problemas de erosión geológica y antrópica que ha afectado grandes sectores del área estudiada.

Con relación a la erosión geológica se detectaron grandes rasgos, como escarpes, áreas de fuerte disección reflejadas por la textura de las imágenes y las densidades de drenaje.

#### **Conclusiones**

Las imágenes de RADARSAT constituyen una poderosa herramienta de apoyo en la cartografía geológica y geomorfológica de la región Andina.

La vista sinóptica y la extensión areal facilitaron el análisis geológico-geomorfológico regional.

La estereoscopia de las imágenes de RADARSAT, permitieron el análisis tridimensional de las geoformas y estructuras obteniéndose mayor precisión y detalle.

Los mayores aportes de las imágenes de RADARSAT corresponden a la interpretación de rasgos estratigráficos, estructurales y grandes geoformas, fácilmente diferenciables sobre las imágenes.

Las imágenes de RADARSAT en Modo fino son útiles para la interpretación geomorfológica y el Estándar mejor para la interpretación geológica.

Para las áreas de terreno plano a ondulado las imágenes de RADARSAT son excelentes para la delineación de rasgos litoestratigráficos y estructurales.

Una limitación del uso de las imágenes de RADARSAT, en la región Andina se presentó para las áreas que presentan relieve quebrado a escarpado, donde se observan fuertes efectos de inversión de relieve y exceso de sombras, dificultando la interpretación temática.

**Referencias**

**INGEOMINAS** 1995. Mapa geológico de la Plancha 190 Chiquinquirá

**ETAYO S. F.**, 1965. Mapa geológico de la Región de Villa de Leyva y zonas próximas, Escala 1:50.000.

**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES GEOLOGICO MINERAS** 1975.  
Geologic Map of The Zipaquirá Quadrangle (K11), Colombia. Escala 1:100.000.

# **APLICACION DE LAS IMAGENES DE RADAR ESTUDIO GEOLOGICO Y GEOMORFOLOGICO DE LA CUENCA BAJA DEL RIO BAYANO**

Sebastián Sánchez. (ICAB y Escuela Geógrafo Profesional).  
Universidad De Panama  
Instituto De Ciencias Ambientales y Biodiversidad . ICAB  
Proyecto de Investigacion

## **1- ANTECEDENTES:**

El análisis de las imágenes de Radar en las investigaciones geológicas y geomorfológicas tienen muchas utilidad, ya que es un instrumento de la Teledetección, donde capta la corteza terrestre y sus recursos naturales libre de nubes.

Las imágenes de Radar destinadas a la prospección de los Recursos Naturales han registrado escenas de la mayor parte del mundo, donde muchos científicos e investigadores han realizado valiosos trabajos en bien de nuestra comunidad.

En la Cuenca del Río Bayano, no se cuenta con la información actualizada de diferentes aspectos Biofísicos y Socioeconómicos que sirvan de base para establecer una política de Ordenamiento Territorial y de planificación, en el que sean cuantificados los recursos minerales y de suelos con que cuenta esta parte de la cuenca.

## **2- JUSTIFICACION:**

En la década del 70, cuando se construyó la Represa del Bayano, para generar energía eléctrica, desde el momento del cierre de las compuertas para iniciar el embalse, se han detectado una variedad de problemas de índole Biofísicos y Socioeconómicos que están modificando adversamente el medio ambiente en la Cuenca Baja del Río Bayano.

La Cuenca Alta y Baja del Bayano se distinguen por mantener altos índices de intervención antrópica, como la deforestación indiscriminada de los bosques. Cuyas áreas desmontadas han sido progresivamente sustituidas por cultivos y pastos donde se practica una ganadería extensiva. Este tipo de práctica agropecuaria desordenada han traído como consecuencia la degradación de los suelos, sedimentación excesiva en el litoral y en el área del embalse, así como la desaparición de importantes ecosistemas terrestres y acuáticas. Ante este panorama es necesario implementar estudios y programas de desarrollo sostenible que permitan un adecuado uso racional de todos los recursos actuales.

Este estudio servirá de base para, **EL ESTUDIO ECOGEOGRAFICO DE LA CUENCA DEL BAYANO AGUAS ABAJO DEL SITIO DE PRESA**, que el ICAB próximamente desarrollará conjuntamente con otras investigaciones multidisciplinarias dentro del área. Esta región ha sido escogida como área piloto para aplicar las técnicas de interpretación de imágenes de Radar en el estudio geológico y geomorfológico de la Cuenca Baja del Río Bayano. Se espera su aplicación en otras áreas de la República de Panamá.

### **OBJETIVOS GENERALES:**

- Evaluar el uso de imágenes de Radar y determinar sus ventajas y limitaciones en los estudios geológicos y geomorfológicos.



- Familiarizarse con las técnicas visuales y digitales para el análisis de Imágenes de Radar.

**OBJETIVOS ESPECIFICOS:**

- Cartografiar las diferentes formaciones y estructuras geológicas del área y la red de tectolineales dentro del área.
- Cartografiar las diversas unidades geomorfológicas y tipos de suelos.
- Determinar procesos de erosión, transporte y acumulación de sedimentos.
- Cartografiar la red de drenaje de la Cuenca Baja del Río Bayano.
- Cartografiar la sedimentación en el litoral próximo a la desembocadura del Río Bayano.

# ANÁLISIS GEOLÓGICO-ESTRUCTURAL DEL SECTOR NORTE DEL LAGO FONTANA (CORDILLERA PATAGÓNICA, ARGENTINA). INTERPRETACIÓN DE LAS IMÁGENES ASCENDENTE Y DESCENDENTE DE RADARSAT/SAR.

Daniela S. Marchionni\* y Mabel E. Lanfranchini\*\*

\* INREMI (U.N.L.P. - C.I.C.), \*\* INREMI (U.N.L.P.)  
Instituto de Recursos Minerales: Calle 47 Nro 522, La Plata 1900, Bs. As., Argentina  
Tel/Fax: 54-21-225648 E mail: rbarrio@isis.unlp.edu.ar

## RESUMEN

El sector sud-occidental de la provincia del Chubut, al norte del Lago Fontana, sector austral de la República Argentina, ha despertado en estos últimos años un gran interés geológico-minero, dada la presencia de manifestaciones metalíferas de probable interés económico, relacionadas a la intensa actividad magmática acaecida durante el intervalo Jurásico-Cretácico en esta comarca.

Dentro de este marco, el empleo de un par de escenas SAR de RADARSAT ha permitido la confección de una cartografía estructural completa y la detección de rasgos lineales de expresión morfológica positiva, vinculados a los sectores de alteración hidrotermal, ya reconocidos a partir de las imágenes TM de LANDSAT.

El tratamiento estadístico de los datos interpretados a partir de las imágenes de radar y de fotografías aéreas, nos ha permitido definir las principales orientaciones estructurales del área y evaluar la complementación de la utilización de las imágenes de radar en modo ascendente y descendente.

## Introducción

En este trabajo damos a conocer los resultados preliminares de un proyecto presentado al programa GlobeSar2 para la adquisición y explotación de la información SAR de RADARSAT del sector sud-occidental de la provincia del Chubut. Dicho proyecto forma parte de un programa más amplio de prospección cuya finalidad es la localización de blancos geológicos con perspectivas de desarrollo minero en el rubro metales preciosos (Au-Ag) y/o polimetálicos (Au-Ag-Cu-Zn-Pb) en el área de los lagos La Plata-Fontana (Marchionni et al., 1997a). Dentro de este marco, los estudios geológico-mineros están siendo llevados adelante por el Instituto de Recursos Minerales de la Universidad Nacional de La Plata.

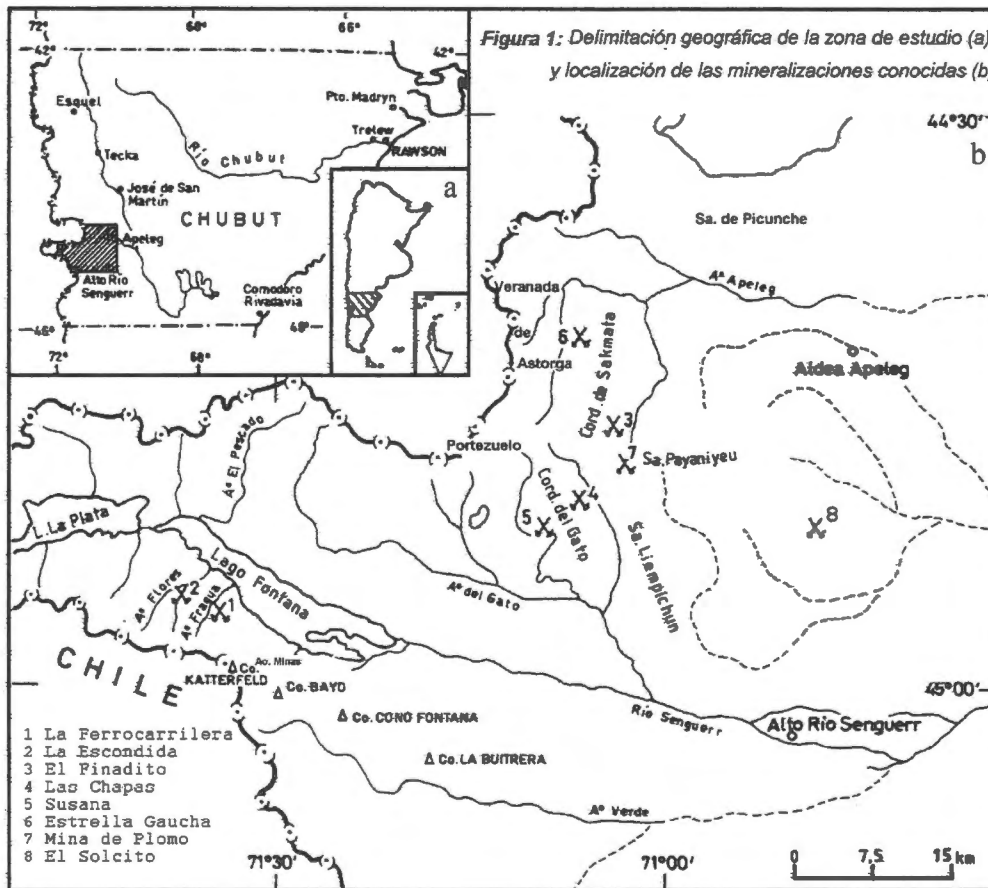
En una primera etapa de esta investigación, el análisis e interpretación de las imágenes TM de LANDSAT han permitido la identificación y delimitación de áreas con probable actividad hidrotermal, las que fueron corroboradas por controles de campo posteriores (Marchionni et al., 1997b) y caracterizadas desde el punto de vista mineralógico y geoquímico. La utilización de un par de escenas SAR de RADARSAT, en modo ascendente y descendente, dentro de este marco, tiene como objeto la caracterización geológico-estructural del área a nivel regional y la búsqueda de rasgos lineales de expresión morfológica positiva vinculados a las áreas de alteración hidrotermal ya reconocidas. Este tipo de rasgos pueden estar indicando la presencia de estructuras vetiformes de cuarzo asociadas, según lo han demostrado experiencias previas realizadas con imágenes SAR en otras provincias de la Patagonia Argentina.

## Área de estudio

El área de estudio, comprendida entre las localidades de Apeleg y Alto Río Senguerr, al noreste del Lago Fontana, se extiende entre los 44° 30' y 45° 00' de latitud Sur, y los 70° 30' y 71° 30' de longitud Oeste, en el sector sud-occidental de la provincia del Chubut (Figura 1a). Su esquema geológico corresponde al de la Cordillera Patagónica y sector extra-andino.

El clima imperante en esta región es frío moderado con altos niveles de precipitación y nubosidad en el sector cordillerano, donde existe una vegetación de bosques caducifolios. Esta vegetación va siendo reemplazada por estepas de gramíneas y suelos desnudos hacia el sector extra-andino, hacia donde el clima se torna semiárido y subtemplado.

La zona se caracteriza por presentar un relieve muy irregular, modelado en gran medida por la acción de los glaciares. Las mayores alturas se encuentran en el sector cordillerano y disminuyen gradualmente hacia el sector extra-andino, al este del anterior. La altura promedio oscila entre los 900 y 2 000 m s.n.m. Los rasgos morfológicos principales están representados por las Cordilleras de Sakmata y del Gato, las Sierras de Payaniyeu, Liempichin y Picunche, y las elevaciones aledañas al Lago Fontana (Figura 1b).

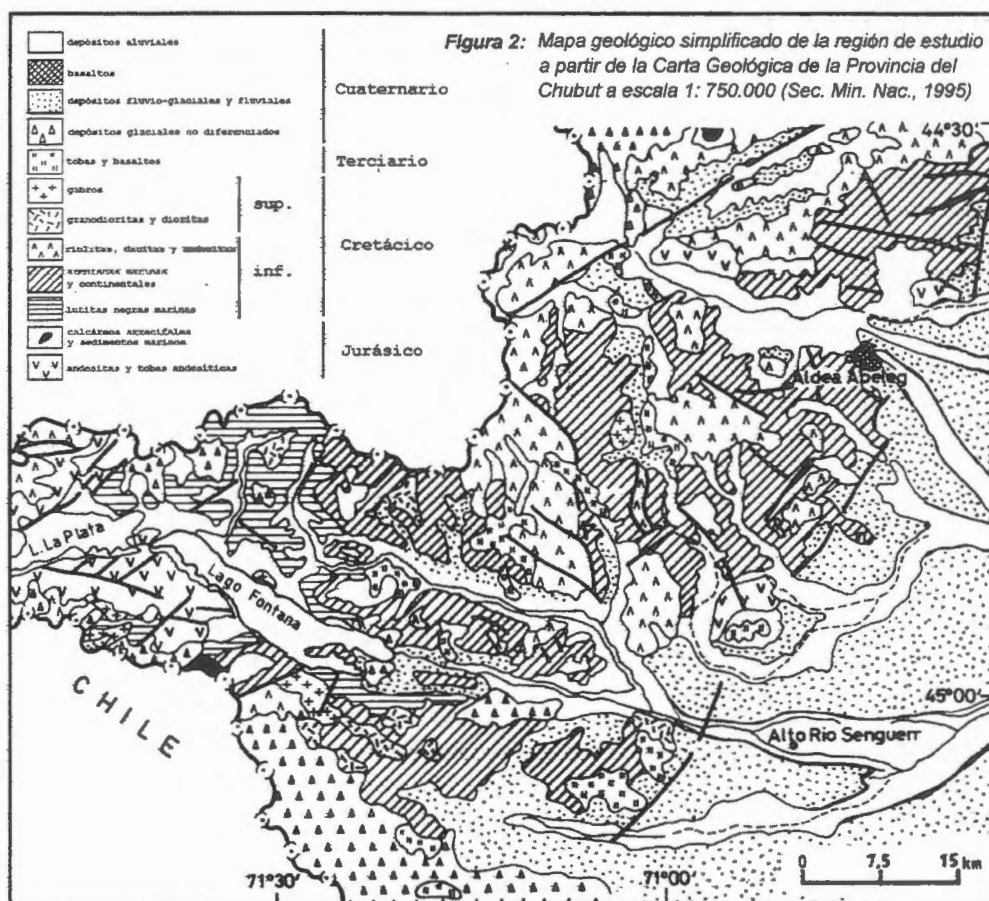


## Marco Geológico

La geología de la región se caracteriza por la presencia de una actividad magmática intensa, con evidencias de mineralización, durante el intervalo Jurásico-Cretácico, interrumpida por ciclos sedimentarios, marinos y continentales, de naturaleza esencialmente clástica y de gran distribución areal (Ploszkiewicz, 1987; Ramos, 1981) (Figura 2). Las unidades geológicas más antiguas aflorantes en el área corresponden a las andesitas y tobas andesíticas de edad jurásica de la Formación Lago La Plata, a las que sobreyacen las sedimentitas marinas de la Formación Tres Lagunas y las areniscas y conglomerados de la Formación Apeleg, del Cretácico inferior.

La evolución magmática comienza con un evento efusivo de gran magnitud en esta zona y de amplio rango composicional, con un máximo de actividad en el Cretácico inferior (Grupo Divisadero). Está representado por las facies volcánicas (riolitas, dacitas y andesitas) y piroclásticas de las formaciones Payaniyeu y Ñirehuao, y por la Formación El Gato, donde se presentan, además, facies filonianas. Durante el Cretácico superior, este volcanismo fue seguido de una gran actividad plutónica en facies ácidas (Granitos La Magdalena y La Plata Chico), intermedias (dioritas de la Formación Cerro Victoria) y básicas (gabros de la Formación Muzzio).

El Terciario está representado por depósitos piroclásticos y efusiones basálticas muy localizadas. Extensas áreas son cubiertas por depósitos glaciares, fluvio-glaciares, fluviales y aluviales cuaternarios y por derrames basálticos posteriores.



Relacionadas al evento volcano-sedimentario Jurásico-Cretácico han sido reconocidas las alteraciones de tipo hidrotermal de Estrella Gaucha, Las Chapas, Minas "Susana" y "Gato" (Hayase et al., 1971 y Hayase y Maiza, 1973), así como las mineralizaciones vetiformes de Mina de Plomo y El Finadito (JICA-MMAJ-SEM, 1982) y las manifestaciones de hierro de tipo skarn de El Solcito y El Abuelo (Hayase et al., 1972) (Figura 1b).

El estilo estructural dominante de la comarca está relacionado a fallas y fracturas regmáticas, reactivadas por esfuerzos tangenciales (Ploszkiewicz y Ramos, 1977). Para el sector occidental (cordillerano), Ploszkiewicz y Ramos (op. cit.) definen las orientaciones N55°E y N55°O como sistemas de fracturación dominantes y un sistema subordinado de orientación aproximada N-S. En el sector oriental (extra-andino), el sistema principal de fallamiento sigue la orientación N70°O, existiendo una dirección subordinada N60°E. Si bien una tectónica de fracturación domina en ambos sectores, en el oriental, el movimiento relativo de los bloques rígidos ha generado pliegues de arrastre muy localizados en la cubierta sedimentaria involucrada (Bergmann, 1957). En esta zona, los pliegues de arrastre están representados por flexuras de un amplio radio de curvatura.

## Materiales y métodos

La interpretación geológica del área de estudio comenzó con el reconocimiento de las principales unidades geológicas aflorantes en la misma y con la identificación de varios sectores con evidencias de alteración hidrotermal sobre una imagen LANDSAT-TM. El estudio calcográfico de muestras pulidas y la aplicación de técnicas de laboratorio (mineralógicas y geoquímicas) han permitido la caracterización de estas alteraciones y facilitado el análisis de sus respuestas espectrales. A continuación se realizó el análisis e interpretación estructural de un par de escenas SAR de RADARSAT (ascendente y descendente) a escala 1:150 000, información que fue complementada por una cartografía estructural de mayor detalle a partir de las fotografías aéreas (escala 1:75 000), sobre los sectores cordillerano y extra-andino.

**Análisis e interpretación de la imagen Landsat.** Fue utilizada una imagen LANDSAT-TM del 26-12-84 (WRS: 231/091), rectificadas geométricamente respecto de la cartografía del Instituto Geográfico Militar, a escala 1:100 000. La interpretación preliminar de la misma se realizó sobre composiciones color (RGB: 731, 741 y 457) en ploteos a escala 1:50 000, donde se reconocieron las principales unidades geológicas y se identificaron las áreas de alteración hidrotermal de Mina Susana, Las Chapas, Mina Estrella Gaucha, El Finadito y Mina de Plomo (Figura 1b), al norte del Lago Fontana (Marchionni et al., 1997b)).

Las alteraciones, que afectan tanto a rocas efusivas y piroclásticas como a rocas sedimentarias, fueron sometidas a técnicas difractométricas de rayos X para la determinación de las especies minerales presentes. Los resultados de estos estudios permitieron definir la presencia de los siguientes tipos de alteración al norte del Lago Fontana: caolinización en Mina Estrella Gaucha, caolinización acompañada por intensa silicificación en Mina Susana y Las Chapas, y silicificación en el El Finadito y Mina de Plomo. El análisis de láminas delgadas permitió la identificación de texturas de relleno en El Finadito y Mina de Plomo, mientras que en Las Chapas, Mina Susana y Estrella Gaucha fueron reconocidas texturas de reemplazo. Por su parte, las determinaciones geoquímicas arrojaron valores anómalos en distintos metales (Pb, Zn, Ag, Au, Cu) para el primer grupo, y anomalías en Hg para las zonas de reemplazo (Marchionni et al., op. cit.).

Fue analizada la respuesta espectral para los distintos canales de TM de cerca de 100 parcelas de rocas alteradas e inalteradas para la programación de cocientes entre bandas, resultando los cocientes 3/7, 5/7 y 7/4 como los más apropiados para la discriminación entre los distintos tipos de alteración y entre estas y las rocas de caja en general. El mapeo de las alteraciones se realizó sobre las composiciones color RGB: 7/4-4/3-5/7 y 3/1-5/4-5/7. La detenida observación de las mismas permitió la mejor caracterización y delimitación geográfica de las zonas de alteración conocidas y de su entorno, así como la identificación de sectores próximos a la frontera argentino-chilena: Portezuelo y Veranada de Astorga, el primero de los cuales ya ha sido confirmado por los trabajos de campo (Figura 1b).

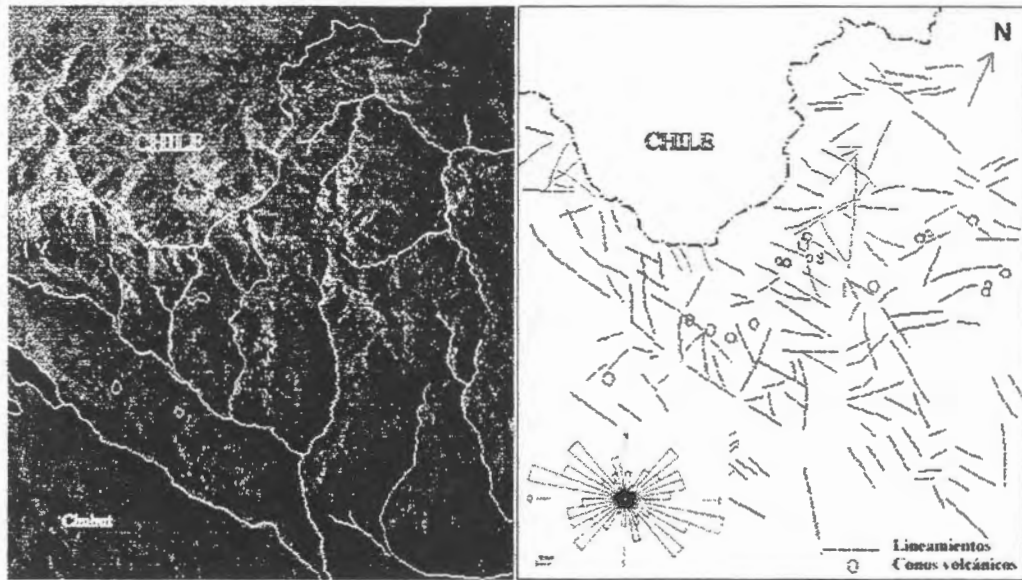
**Análisis e interpretación de las imágenes SAR.** Las imágenes SAR de RADARSAT utilizadas corresponden a un par de escenas de órbita ascendente y descendente, tomadas el 07-02-97 (órbita 6594) y el 11-02-97 (órbita 6643), respectivamente. Ambas escenas georreferenciadas, de resolución fina y de 37-40° de ángulo de incidencia (Modo *Fine 1 Beam*), tienen un espaciamiento de pixel de 6,25 metros tanto en azimut como en alcance y una resolución de imagen de 10x10 metros.

Sobre dos ventanas de 1024 x 1024 píxeles, se ensayaron filtros adaptativos para la reducción del ruido del moteado (*speckle*). Los mejores resultados cualitativos a los fines de la interpretación visual fueron obtenidos con la aplicación del filtro MAP Gamma, con una matriz de 3x3 píxeles. Similares resultados cualitativos fueron obtenidos con la aplicación del filtro Kuan de igual matriz, y con un factor de contraste variable: 5 para la imagen ascendente y 7 para la descendente.

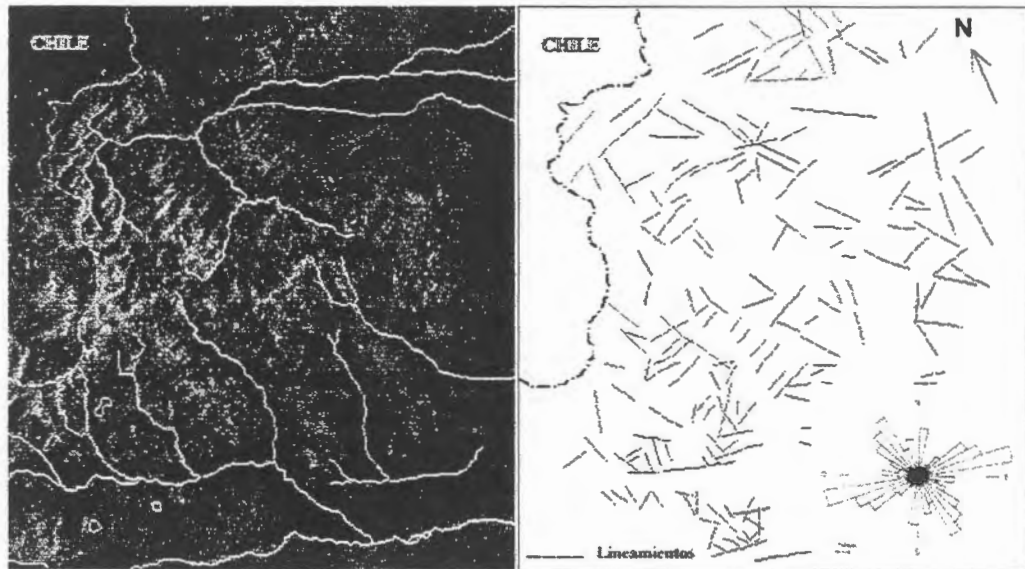
Las escenas, una vez filtradas, fueron llevadas de 16 a 8 bits aplicando una función de estiramiento lineal y exportadas para su rectificación geométrica. La misma se realizó respecto de la imagen LANDSAT-TM previamente corregida, mediante una transformación polinómica de segundo orden y con el método de interpolación de convolución cúbica. Fueron realizados los tratamientos convencionales para realzar los rasgos lineales y mejorar el contraste (Singhroy et al., 1994).

Sobre ploteos a escala 1:150 000 de ambas imágenes fue interpretada y cartografiada la red hidrográfica principal y fueron reconocidos una serie de rasgos tales como morfologías volcánicas y estructuras sedimentarias (estratificaciones). También fueron interpretados y mapeados los lineamientos estructurales presentes, los cuales fueron objeto de un análisis estadístico tradicional. Esta interpretación fue realizada sobre las dos imágenes por separado para luego proceder a la integración de la información

aportada por las mismas. La cartografía estructural resultante fue complementada con la proveniente de la fofointerpretación a escala 1:75 000 de dos sectores representativos.



*Figura 3: Cartografía estructural regional de la imagen SAR de RADARSAT en modo ascendente y su correspondiente diagrama de orientaciones.*



*Figura 4: Cartografía estructural regional de la imagen SAR de RADARSAT en modo descendente y su correspondiente diagrama de orientaciones.*

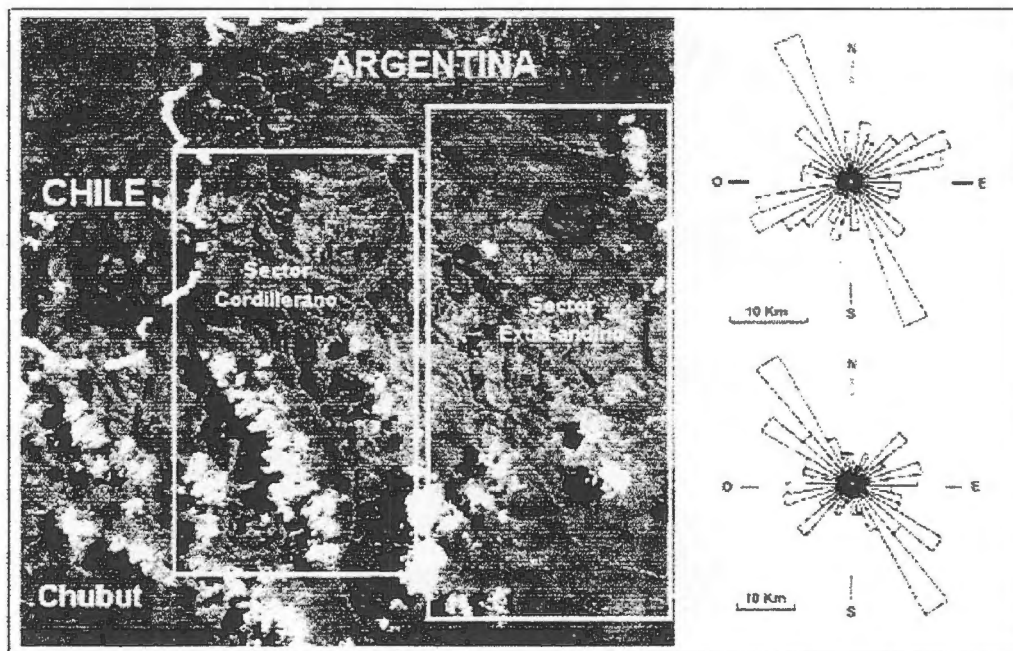
**Identificación de las estructuras.** A nivel regional, en las imágenes SAR de RADARSAT pudieron ser reconocidos los lineamientos tectónicos principales de Apeleg, Gato y Senguerr, que atraviesan tanto la zona cordillerana como la extra-andina con una orientación aproximada de  $N70^{\circ}W$ , siguiendo la traza de los valles de los cursos de agua homónimos y que fueran interpretados por Ploszkiewicz y Ramos (1977) como antiguas líneas de debilidad del basamento, que segmentaron la comarca en diversos bloques. De menor magnitud, pero muy bien representados, son los lineamientos que, con un rumbo N-S controlan la distribución de los afluentes del Arroyo Gato, al sur del área, y del Río Apeleg, al norte de la misma, visibles en ambas imágenes SAR.



Hay que señalar además que, en la imagen ascendente, ha podido ser observada una serie de conos volcánicos que aparecen alineados con un rumbo N65°E; dirección que es definida por Ploszkiewicz y Ramos (op. cit.) como la orientación dominante de alivio tensional, que controla las efusiones basálticas cenozoicas de esta faja volcánica. Esta dirección estructural no muestra gran desarrollo en dicha imagen y, por el contrario, aparece mejor desarrollada en la imagen descendente

Sobre las imágenes SAR de RADARSAT (Figuras 3 y 4), fueron cartografiadas más de quinientas direcciones estructurales que atraviesan los bloques limitados por los lineamientos mencionados. Las mismas fueron ponderadas por su longitud y recalculadas porcentualmente para la construcción de los diagramas de orientaciones correspondientes. Del análisis de estos diagramas se desprende una desigual proporción de las estructuras cartografiadas en ambas imágenes: en la imagen ascendente aparece con mayor desarrollo la dirección N70-80°O, a la que siguen en orden de importancia las direcciones N40-50°O y N40-50°E, mientras que en la imagen descendente predomina la orientación N70-80°E y N30-40°O, en segundo término.

**Análisis e interpretación de las fotografías aéreas.** En las fotografías aéreas fueron observados los mismos lineamientos tectónicos de rumbo N70°O que fueran reconocidos sobre las imágenes SAR de RADARSAT y que separan la comarca en diversos bloques (lineamientos de Apeleg, Gato y Senguerr). También fueron reconocidos los lineamientos de rumbo aproximado N-S correspondientes a los afluentes del Arroyo Gato, al sur del área, y del Río Apeleg, al norte de la misma. A una escala mayor, fueron cartografiadas más de quinientas direcciones estructurales sobre los bloques mencionados, a las cuales se aplicó el mismo tratamiento estadístico. La interpretación se realizó sobre dos sectores diferentes (cordillerano y extra-andino), que se corresponden con la parte occidental y oriental de las imágenes analizadas, encontrándose la transición entre los mismos a la altura de la Sierra de Payaniyeu (Figura 5).

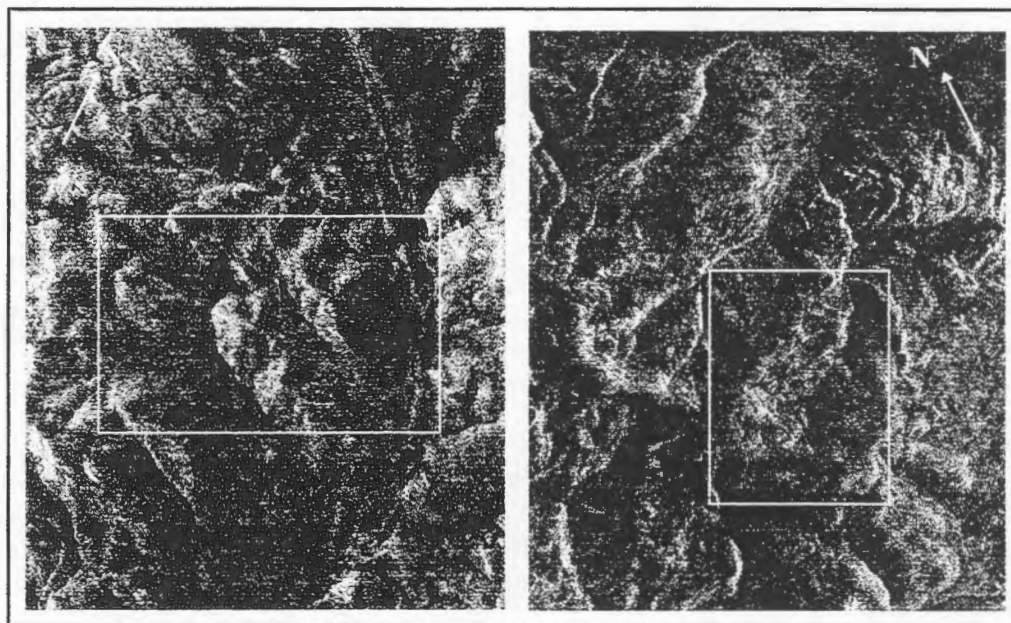


**Figura 5:** Ubicación geográfica de los sectores fotointerpretados sobre la imagen Landsat-TM y diagramas de orientaciones resultantes: sector cordillerano (superior) y extra-andino (inferior).

Del análisis de los diagramas de orientaciones resultantes, se desprende que para el sector cordillerano la dirección de fracturación principal es N20-30°O, correspondiéndose aproximadamente con la principal dirección de fracturación del sector extra-andino N30-40°O. En el sector extra-andino sigue en orden de importancia la fracturación de rumbo N50-60°O, que casi no aparece representada en el sector cordillerano, en el cual la segunda dirección de fracturación, en orden de importancia, es la de rumbo N60-70°E. La rotación observada entre las direcciones estructurales de ambos sectores puede ser

atribuida a una respuesta diferencial de la corteza al campo de esfuerzos reinantes, a medida que nos vamos alejando del orógeno andino, ubicado hacia el oeste del área.

**Identificación de estructuras diqueiformes.** La detenida observación en pantalla sobre las imágenes SAR de RADARSAT, de algunos sectores definidos a partir del análisis de las imágenes LANDSAT-TM como probables áreas de alteración hidrotermal, han permitido detectar y cartografiar rasgos lineales de expresión morfológica positiva definidos como estructuras diqueiformes, algunos de los cuales se ilustran en la Figura 6. La observación de estos rasgos, a los que trabajos de campo posteriores, permitieron caracterizar desde el punto de vista de su composición y yacencia, ha sido más efectiva en la imagen SAR de modo ascendente por su mejor calidad visual.



**Figura 6:** Detalle, sobre las imágenes SAR de RADARSAT, de los sectores de Cerro Pepita (izquierda) y Cerro Pedrero (derecha), donde han sido reconocidas estructuras de cuarzo.

En la zona de Portezuelo, en proximidad a la frontera argentino-chilena, han sido detectados algunos rasgos lineales en la imagen, en un sector donde los trabajos de campo permitieron reconocer la presencia de un dique de composición dacítica de orientación aproximada N50°E y una estructura vetiforme de cuarzo con óxidos, que aflora en forma discontinua con un rumbo N30°O.

En el área de Mina de Plomo, la estructura de mayor expresión corresponde a un dique dacítico de rumbo N 20°O y de más de quince metros de espesor, que ha sido recorrido en el campo a lo largo de unos 1 000 metros, mientras que en la imagen puede seguirse por más de dos kilómetros. Otros diques dacíticos, de menor desarrollo, acompañan al anterior, con una orientación subparalela. Rasgos morfológicos más pequeños, de rumbo aproximado E-O, próximos a dichos diques, han sido confirmados en el campo como estructuras vetiformes de cuarzo.

En las elevaciones situadas al noroeste del Cerro Pepita, puede observarse en la imagen un rasgo lineal casi continuo por cerca de cinco kilómetros, con rumbo E-O, que corresponde a una veta de cuarzo con sulfuros, con texturas de relleno, de más de quince metros de potencia, que ha sido seguida en el campo por más de un kilómetro de corrida.

En las cercanías del Cerro Pedrero han sido observadas en la imagen descendente una serie de estructuras, agrupadas en dos sistemas principales de rumbo N 20°O y N 80°E, que han sido confirmadas en el campo como vetas de cuarzo con venillas asociadas y que cubren un área de unos cinco kilómetros cuadrados.

## Consideraciones finales

La información obtenida a partir del análisis integral de las imágenes SAR de RADARSAT en modo ascendente y descendente, permitió la confección de una cartografía estructural a escala regional del área situada al noreste del Lago Fontana, entre las localidades de Apeleg y Alto Río Senguerr. Esta información pudo ser completada, a una escala mayor, por la interpretación de las fotografías aéreas de dos sectores representativos de las zonas cordillerana y extra-andina. El tratamiento estadístico de los datos interpretados permitió definir las principales orientaciones estructurales del área y ratificar la importancia de la utilización de pares de imágenes, en modo ascendente y descendente sobre la misma zona, para la realización de una cartografía estructural completa.

El minucioso análisis de las imágenes en pantalla permitió también la detección de rasgos lineales de expresión morfológica positiva, vinculados a las zonas de alteración hidrotermal ya identificadas a partir de las imágenes LANDSAT-TM, parte de los cuales han podido ser estudiados en el campo y confirmados como estructuras vetiformes de cuarzo, pudiendo constituir efectivas guías de prospección de depósitos metalíferos de interés económico.

## Agradecimientos

Los autores desean agradecer a las Instituciones Canadienses de Teledetección que han provisto las imágenes SAR de RADARSAT, los softwares de procesamiento utilizados para esta investigación y el apoyo técnico necesario para su aprovechamiento y a la Comisión Nacional de Actividades Espaciales por las gestiones realizadas. Agradecen además al Dr. Raúl de Barrio, por la lectura crítica del trabajo.

## Listado Bibliográfico

- Bergmann, T., 1957. **Constitución geológica de la región del Lago Fontana, comprendida entre los valles del Arroyo Apeleg y Laguna Coyte.** Soc. Arg. Min. y Geol. Revista Minera Tomo XXIII (2): 8-20.
- Hayase, K., O. Schincariol y P. Maiza, 1971. **Ocurrencia de Alunita en cinco yacimientos de caolín en Patagonia: Mina Equivocada, Loma Blanca, Mina Estrella Gaucha, Mina Gato y Camarones.** República Argentina. AAMPS Rev.(II) N° 3-4: 49-72.
- Hayase, K., E. Gelós y C. Labudia, 1972. **El yacimiento de hierro, Mina El Abuelo, Alto Río Senguerr, Provincia del Chubut, República Argentina.** Congr. Geol. Arg. Actas V: 123-136.
- Hayase, K. y P. Maiza, 1973. **Presencia de Dickita en Yacimientos de caolín en la Patagonia, República Argentina.** Actas V Congr. Geol. Arg. (I): 153-169.
- JICA-MMAJ-SEM, 1982. **Informe de estudios básicos sobre la exploración de recursos minerales en la zona patagónica de la República Argentina** (primera etapa), inédito, pp: 194.
- Marchionni, D., R. de Barrio, y I. Schalamuk, 1997a. **Prospección de dépôts minéraux polymétalliques dans la zone du Lac Fontana, Province del Chubut, Argentina. Utilisation des images SAR de RADARSAT pour l'analyse lithologique et structurale.** International Symposium Geomatics in the Era of Radarsat, Ottawa, Mayo de 1997, Actas, Nro 439, pp: 7.
- Marchionni, D., M. Lanfranchini, M. Del Blanco, y R. Etcheverry., 1997b. **Identificación de Zonas de Alteración Hidrotermal en el Área de los Lagos La Plata-Fontana (Cordillera Patagónica), Provincia Del Chubut, Argentina. Análisis de la información TM de Landsat.** VIII Simposio Latinoamericano de Percepción Remota. Mérida, Noviembre de 1997. Actas: 71.
- Ploszkiewicz, J. y V. Ramos, 1977. **Estratigrafía y tectónica de la Sierra de Payaniyeu (Provincia del Chubut).** Asoc. Geol. Arg., Rev. XXXII (3): 209-226.
- Ploszkiewicz, J., 1987. **Descripción Geológica de la Hoja 47 c "Apeleg".** Provincia del Chubut. Direc. Nac. de Min. y Geol., Boletín N° 204, pp: 100.
- Ramos, V., 1981. **Descripción Geológica de la Hoja 47 a-b "Lago Fontana".** Provincia del Chubut. Serv. Geol. Nac., Boletín N° 183, pp: 143.
- Singhroy, V., B. Rivard, R. St. Jean y B. Guindon., 1994. **Guidelines for enhanced SAR images techniques for geological applications.** X Thematic Conference on Geologic Remote Sensing. Proceedings (2): 626-634.

# FOREST TYPE DISCRIMINATION BY COMBINING RADARSAT FINE MODE AND LANDSAT TM DATA

Gabriel Carballo

Centro de Cálculo – CECAL  
Facultad de Ingeniería, Universidad de la República  
Julio Herrera y Reissig 565, CP 11300, Montevideo, URUGUAY  
phone: 598 2 711 4229, fax: 598 2 711 0488  
[gabriel@fing.edu.uy](mailto:gabriel@fing.edu.uy)

## ABSTRACT

This paper describes part of the activities developed in the project "Forest growth monitoring with RADARSAT" within the GlobeSAR 2 program and shows some preliminary and previously unexpected results related with the discrimination of different production forest species in Uruguay, revealing a new potential for forest mapping both at regional and national scales. The study site is in Algorta, department of Paysandú, Uruguay and was selected because it includes the largest plantations in the country, with high dynamics, new areas are being planted each year while others are being cut down, and field data was already available. One RADARSAT fine mode image was used up to now: SGF-F3 acquired on January 04, 1998. Besides, a LANDSAT TM scene with 6 bands acquired on August 11, 1996 and aerial photographs over one of the major plantations acquired on September 1997, its corresponding interpretation and forest inventory results are being integrated into a GIS, together with the SAR data. Basically the government and the private sector are interested in mapping the following forest categories: *Eucalyptus grandis/saligna/dunii*, *Eucalyptus globulus ssp. globulus/ssp. maidenii*, other *Eucalyptus* and *Pinus*, as production forest types and also native and coastal forests. Up to now, performing this mapping with only LANDSAT TM data was very time consuming since mainly *Eucalyptus globulus*, other *Eucalyptus* and *Pinus* are very hard to discriminate, even visually. It has been possible to separate these classes, but the field sampling had to be very intense and accurate. Now, adding the RADARSAT F3 image, it is possible to discriminate easily between *Pinus* and *Eucalyptus*, decreasing significantly the execution time of classification post-processing algorithms and field data capture. The RADARSAT F3 image has been filtered to reduce speckle (Sigma-Lee), co-registered to the LANDSAT TM scene already projected to the national reference system, and a non-supervised classification was performed. Results were compared with the classification of the TM data only and the accuracies were slightly higher. Further filtering tests are being conducted to improve classification results. Another remarkable outcome has been the clear identification and separability of young *Eucalyptus* plantations (less than 2 years old), non-existent in the LANDSAT TM data. Following steps will include finishing the GIS database with the forest inventory of one plantation, calibrate the RADARSAT data, evaluate the backscattering response at the interior of the polygons, acquire and integrate the next RADARSAT fine mode dataset.

**RELEVAMIENTO DE LA VEGETACION NATURAL DE LA  
CUENCA DEL RIO DORADO, PROVINCIA DE SALTA.  
ARGENTINA  
Proyecto Argentina-26**

**Ing. Agr. Celina Montenegro. 1  
Lic. Priscilla Minotti. 2**

1. Dirección de Recursos Forestales Nativos. Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable
2. Sistema de Información Ambiental Nacional. Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable

San Martín 459. (1004) Buenos Aires . Argentina  
Tel: 54-1-3488504 Fax: 54-1-3488486  
Email: inv\_ftal@sernah.gov.ar

**RESUMEN**

**Introducción**

Este proyecto del programa GlobeSAR 2 pretende obtener información cuali-cuantitativa sobre la ubicación y extensión de las masas boscosas nativas de la cuenca del Río Dorado (provincia de Salta, República Argentina), que servirá de base para la planificación y manejo sustentable de los recursos forestales de la región.

Se presentan los primeros resultados del análisis de imágenes RADARSAT en modo S6 descendente correspondientes a marzo (época de lluvias) y noviembre (época seca) de 1997.

**Objetivos**

**General:**

- Estudio de la vegetación natural y usos del suelo en el área de la cuenca del Río Dorado mediante la utilización de imágenes RADARSAT.

**Específicos:**

- Identificación de los problemas ambientales que afectan el ámbito de la cuenca, a fin de proponer una estrategia para restaurar y conservar la biodiversidad del ecosistema regional.
- Clasificación de masas boscosas, determinación de la superficie de los distintos tipos de bosque nativo en relación a la superficie total y su grado de alteración utilizando imágenes RADARSAT y LANDSAT.
- Identificación de causas regionales de degradación.
- Identificación de bosques protectores.
- Delimitación de las áreas con capacidad de aprovechamiento sustentable e identificación de criterios e indicadores de manejo.

**Fuente de información**

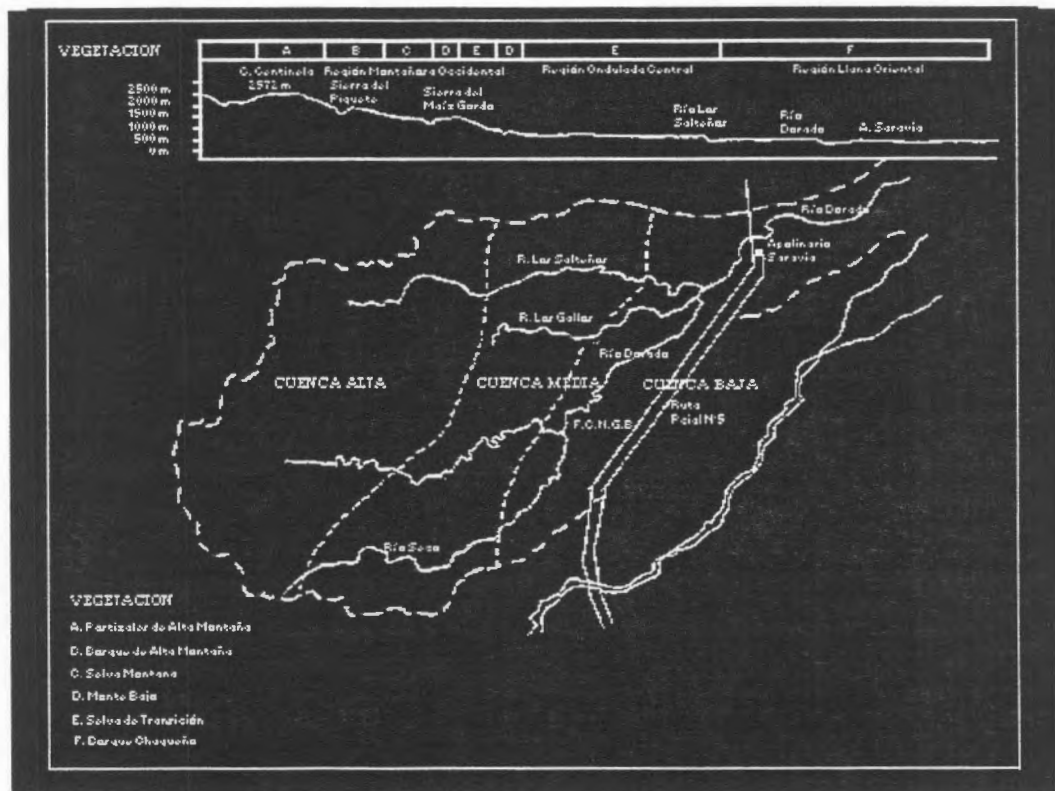
Imágenes de radar, Modo S6, del 31 de Marzo de 1997 y 2 de Noviembre de 1997.  
Imágen LANDSAT TM, 230077, Bandas 3-4-5, de Enero de 1993 y de Octubre de 1997.  
Estudio de Protección de la Cuenca del Río Dorado, Salta, Convenio CFI - IFONA - Pcia. de Salta, Agosto de 1991.

**Ubicación**

El área se encuentra ubicada en el departamento de Anta de la provincia de Salta.  
 Limita al norte y oeste con la cuenca del río Bermejo, al sur con la cuenca del Río del Valle, al oeste con las estribaciones de la Cresta de los Gallos y las sierras del Maíz Gordo y del Centinela.



**Area de estudio**

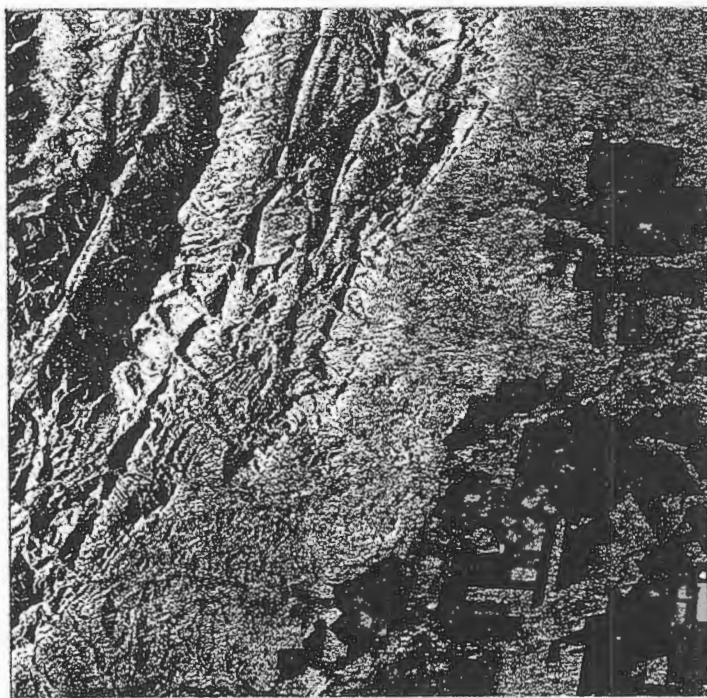




**Imagen de radar, Modo S6, descendente, 31 de Marzo de 1997.**



**Imagen de radar, Modo S6, descendente, 02 de Noviembre de 1997.**



**Resultados preliminares**

### **Clasificación de masas boscosas.**

Para esta tarea se utilizaron imágenes de retrodispersión Beta cero en decibelios. Se realizó un estudio de separación de clases a partir de muestras de las siguientes clases forestales:

1. Pastizales de alta montaña
2. Bosque de alta montaña
3. Monte bajo achaparrado
4. Selva montana
5. Selva de transición (con variantes húmeda y seca)
6. Bosque chaqueño.

No se consideraron las áreas destinadas a usos agrícola y ganadero.

Las clases correspondientes a pastizales de alta montaña, bosque de alta montaña, monte bajo achaparrado y selva montana, no son separables en zonas montañosas debido a la combinación de los efectos de acortamiento y sombreado en una región de relieve muy quebrado.

En el caso de la selva de transición, se pueden diferenciar formaciones húmedas de relieve plano; en caso de relieve serrano se confunde con la selva montana. En el caso de la selva de transición formación seca, en relieve plano se confunde con el bosque chaqueño.

### **Superficies de las clases forestales.**

El enfoque de clasificación empleado hasta la fecha no ha sido satisfactorio para identificar masas boscosas por lo que no es posible aún realizar estimaciones de superficie.

### **Identificación de indicadores regionales de degradación.**

Se pueden identificar, como producto de la actividad antrópica, cárcavas y zonas de deslizamientos; éstas últimas en las laderas de exposición este, de cara al sensor.

### **Identificación de bosques protectores.**

Se denominan bosques protectores a aquellos ubicados en las márgenes de los ríos, en las cabeceras de las cuencas, en áreas de pendientes abruptas y en pisos altitudinales superiores. Este objetivo aún no se ha encarado.

### **Discusión y pasos a seguir.**

El enfoque de clasificación supervisada a partir de muestras provenientes de controles de campo e información auxiliar de relevamientos forestales anteriores no ha sido adecuado para discriminar las distintas clases buscadas. Estas clases son fundamentalmente influenciadas por variables tales como altitud, pendiente, exposición y relieve. En las imágenes de Radarsat las variables antes mencionadas tienen un peso preponderante pero no son extractables si no se cuenta con un modelo de elevación digital.

Las tareas a encarar en el futuro incorporarán la estratificación en función de las variables mencionadas a partir del a) enmascaramiento de áreas de sombras y acortamiento, b) enmascaramiento de áreas ribereñas y agrícolas, c) estratificación por altura y exposición, y d) enmascaramiento de clases a medida que son resueltas, incorporando además clasificadores texturales. Se espera poder generar un modelo de elevación digital obtenido a partir de la combinación de imágenes modo S4 y S6 con información de puntos acotados altimétricamente.

### **Agradecimientos**

Se ha contado con la colaboración de la Geóg. Mabel Strada de la Dirección de Recursos Forestales Nativos, con el apoyo del Canadian Center for Remote Sensing financiando la capacitación técnica, RADARSAT International proveyendo las imágenes de radar; PCI brindando el software de procesamiento de imágenes; el Sistema de Información Ambiental Nacional del PRODIA, facilitando hardware; y de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales de Argentina.

# SEGUIMIENTO DE LAS CUBIERTAS FORESTALES DE TIERRA DEL FUEGO MEDIANTE IMÁGENES DE RADARSAT

**Roberto Castro Ríos (Dr. En Cartografía, Teledetección y SIG)**

Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal.

Departamento de Ciencias Forestales

Vicuña Mackenna 4860 , Santiago, Chile.

Tel.: 5532900 Fax: 562 - 5520780

Email: rcastro@sas.puc.cl

**Marion Espinosa Toro (Ing. Agrónomo)**

Centro de Información de Recursos Naturales de Chile (CIREN - CORFO).

Manuel Montt 1164, Santiago, Chile

Tel.: 56-2-223 66 41 Fax: 56-2-209 64 07

Email: ciren@reuna.cl

## RESUMEN

El objetivo de este proyecto es evaluar los datos de RADAR para identificar las cubiertas de bosques nativos, las alteraciones que se producen en estos como producto de intervenciones humanas y, detectar estos cambios en el tiempo (análisis multitemporal). En este marco, esta comunicación da cuenta de un aspecto de la primera fase del proyecto, que consiste en la clasificación de las principales cubiertas vegetales del área de estudio y la discriminación de la condición de la cobertura de bosque nativo según la alteración de estas. De igual forma se presenta el análisis multitemporal realizado para una fecha de verano y otra de invierno, dando cuenta de las variaciones de los bosques debido a los cambios de humedad y estado fenológico.

Las clases espectrales indicaron confusión entre las pertenecientes a una misma formación vegetal, en el caso de matorral con algunas clases de bosque, especialmente las más heterogéneas o ralas, por ello, el proceso de clasificación se realizó en dos pasos, el primero con la totalidad de las muestras y posteriormente sólo con las correspondiente a la formación de bosque.

La primera clasificación digital, con la totalidad de las muestras, separa las tres formaciones vegetales de mayor presencia en el área que son los bosques, los matorrales leñosos bajos y las praderas, incluyéndose en esta formación las turbas. La clasificación de los bosques permite separarlos de acuerdo a la regularidad de estos, separándose las zonas con disturbios.

En el análisis de cambios, se puede identificar la influencia de la humedad y la casi ausencia de hojas en los bosques de lenga y ñirre, lo que hace que los espacios alterados al interior del bosque se visualicen más contrastados y en aquellos casos de espacios con troncos caídos y abundante matorral, estos se confunden con el bosque dando la apariencia de un dosel más continuo.

## Introducción

Recientemente Chile terminó su primer inventario nacional de vegetación nativa, corroborándose que una de las zonas de mayor dificultad para estudiar es la correspondiente a la zona Austral (Tierra del Fuego), donde se concentra una de las superficies de bosque nativo (*Nothofagus pumilio*) más extensas del país.

La característica de esta zona, desde el punto de vista climático y la accesibilidad a ella son las principales dificultades para obtener información permanente de estos bosques, debido a que no permiten la utilización de sensores ópticos, es por ello que los datos de RADARSAT se presentan como una alternativa para realizar el seguimiento de las alteraciones por causas naturales y humanas.

En los últimos años en Europa y Canadá han ido surgiendo distintas aplicaciones de datos de RADAR, que constituyen el punto de partida para elaborar el conocimiento a nivel de Latinoamérica. Un buen ejemplo es el mosaico de África Central, realizado con 477 imágenes de RADAR permitiendo la ubicación y cuantificación de la deforestación y distribución de este problema en el continente africano (Maligreau, et

al, 1994). En Indonesia datos del RADAR han sido utilizados con éxito en el inventario de los recursos agrícolas (Harms, J. 1996); de igual forma son fuente de datos única para la planificación territorial y manejo de los bosques tropicales (Kuntz, S. Wanninger, K, 1995). Experiencias similares se tiene en Brasil ( Wooding et al, 1996), Argentina ( Salgado y Maris, 1996).

En Chile, la experiencia es escasa en todo los campos y especialmente en el campo forestal y agrícola, por lo anterior la presente comunicación, que forma parte de un proyecto de investigación a tres años plazo, en el marco del proyecto GLOBERSAR II, se justifica y valoriza de cara a los desafíos futuros.

El objetivo de este proyecto es evaluar los datos de RADAR para identificar las cubiertas de bosques nativos, las alteraciones que se producen en estos como producto de intervenciones humanas y, detectar estos cambios en el tiempo (análisis multitemporal).

Esta comunicación da cuenta de un aspecto de la primera fase del proyecto, que consiste en la clasificación de las principales cubiertas vegetales del área de estudio y de la discriminación de la condición de la cobertura de bosque nativo según la alteración de estas, así como los cambios entre verano e invierno producto de la humedad y los cambios fisiológicos de la vegetación.

### **Area de Estudio**

El área de estudio se encuentra ubicada en la comuna de Tierra del Fuego (isla), cuyos límites son: por el Norte, línea recta que pasa por lago Mercedes; por el Sur y Oeste el Océano Pacifico y por el Este a 10 Km. al este del lago Blanco. La superficie aproximada es de 70 kilómetros cuadrados. Esta zona se sitúa en la XII Región de Chile, entre los grados 53,30 y 54,30 de Latitud Sur y entre los 71,50 y 69,20 grados de Longitud Oeste..

Las condiciones climáticas de esta zona corresponden a un clima estepárico frío, con temperatura media anual de 6 grados celcius, llegando a mínimas de -18 grados. La precipitación media anual es de 432 milímetros, con fuertes vientos, permanente presencia de nubes.

El territorio presenta terrenos de pendientes suaves a onduladas, con excepción de la parte de la cordillera de los Andes donde el terreno es quebrado y abrupto con porcentajes de pendientes altas, sector asociado a los bosques nativos de Lenga (figura 1).

**Figura 1. Ubicación área de estudio (Imgen NOAA)**



## Material y método

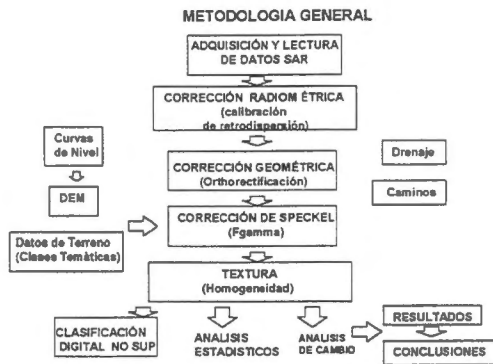
Para el presente trabajo se contó con datos provenientes del satélite RADARSAT, modo Standard 5 (S5) y Fino (F4) órbita descendente y ascendente respectivamente, en formato CEOS.

Como datos auxiliares se contó con una clasificación digital de imágenes Landsat (10 febrero de 1994), cartografía de cobertura vegetal (Castro et al, 1996), cartas bases de curvas de nivel, hidrografía y caminos, imágenes SPOT.

El análisis se realizó en PC, con el software PCI y Eartview, más el apoyo del SIG ARC-INFO.

La metodología general se presenta en el esquema de la figura 2.

Figura 2



La primera etapa consistió en la adquisición de las imágenes y su posterior lectura. Se seleccionó tres fechas, una en cada verano y una de inicio de primavera. Para esta comunicación se trabajó específicamente con las del 12 de Febrero de 1997 (modo S5 y F4) y la del 11 de Octubre de 1998 (S5). Una segunda etapa consistió en la corrección radiométrica de los datos y posteriormente la corrección geométrica, en este caso se utilizó un modelo de elevación digital (DEM) y el modelo orbital, más puntos de control (GCP) identificados en la cartografía base escala 1: 50.000, el algoritmo de asignación utilizado fue el vecino más cercano.

Al resultado obtenido se aplicó el filtro FGAMMA con una matriz de 5 x 5, situación intermedia a la encontrada como óptima por Wooding et al (1996) con el fin de disminuir el moteado (speckel). En el paso siguiente se obtuvo el segmento de textura (homogeneidad), el cual fue utilizado para obtener mediante clasificación digital (maxclas) supervisada la separación de las formaciones vegetacionales. Posteriormente, en el análisis multitemporal (verano-invierno) se obtuvieron los canales texturales y las respectivas clasificaciones a partir de las imágenes corregidas geométricamente, sin corrección de speckel. Estos datos se compararon estadísticamente mediante las moda.

En el proceso seguido, la etapa de terreno se realizó en forma simultánea a la toma de la imagen. En ella se identificó y seleccionó las parcelas de seguimiento, representativas de cada clase temática (bosques aclarados o ralos, renovales, sobremaduros, cosechas y zonas quemadas) (figura 3 y 4 y 5), las que se habían identificado previamente en base a los antecedentes cartográficos recopilados. Las clases temáticas identificadas fueron debidamente digitalizadas y utilizadas en la etapa de clasificación.

Las clases que se utilizaron para el primer análisis, sólo con la imagen S5 de verano, son las que se indican en la tabla 1. Para el análisis multitemporal ambas imágenes se analizaron según las clases que se indican la tabla 2.



Tabla 1. Clases temáticas

Clases de bosque :

No.	Especie	Estructura	Densidad	Sotobosque	Tapiz	Pendiente
1	DW,NB,MM	Adulto	Denso	Semidenso	Herbáceo	5 a 10%
2	NB,NP,DW	Adulto	Semidenso	Semidenso	Hojarasca	5 a 10%
3	NP,NB	Renoval	Denso	Ralo	(cosecha)	5 a 15%
4	NB, NP	Adulto	Semidenso	Ralo	Hierba y troncos	5 a 10%
5	NA	Adulto	Ralo	Denso	Hierbas	5 a 10%
6	NP	Renoval	Denso	Ralo	Hierbas	> 30%
7	NP	Adulto	Denso	Ralo	Troncos	>30%
8	NP	Sobremaduro	Ralo	Denso	Hierbas	>30%
9	NP,NA	Sobremaduro	Ralo	Semidenso	Hierba y troncos	5 a 10%
10	NP,NA	Adulto	Semidenso	Ralo	Hierbas	5 a 10%
11	NA,NP	Adulto	Denso	Ralo	Hojarasca	>30%
12	NA,NP	Adulto	Ralo	Semidenso	Hierba	5 a 10%
13	NA	Sobremaduro	Ralo	Denso	Hierba	5 a 10%
14	NP	Adulto	Ralo	Semidenso	(incendiado)	Varias

Clases de matorral:

No.	Especie	Densidad	Tapiz	Pendiente
15	Cd	Denso	Hierbas	5 a 10%
16	Cd	Semidenso	Hierbas	10 a 25%
17	Cd,Bb	Ralo	Hierbas	5 a 10%

Clases de Pradera

No.	Especie dominante	Densidad	Tapiz	Pendiente
18	Fg,fr,ab	Densa	Hierbas	5 a 10%
19	Fg, ab	Rala	Suelo	10 a 20 %
20	Aa,bp	Semidensa	Hierbas	5 a 10%
21	Fg,fr,ab	Rala	Suelo	5 a 10%

Clases de Turba:

No.	Especie dominante	Densidad	Tapiz	Pendiente
22	Sm,mg	Densa		5 a 10%
23	Tu,sm	Densa		5 a 10%

Las especies citadas como dominantes son las siguientes: DW= *Drimys winteri*, NB= *Nothofagus betuloides*, MM= *Maitenus magellánica*, NP= *Nothofagus pumilio*, NA= *Nothofagus antártica*, Cd= *Chilodactylus diffusum*, Bb= *Berberis buxifolia*, fg= *festuca gracillima*, fr= *Festuca rubra*, ab= *Agrostis brachyathora*, aa= *Acaena sericea*, bp= *Blechnum pennamarina*, sm= *Splagnum magellanicum*, mg= *Marsippospermum grandiflorum*, tu= *Polytrichum alpestre*.

Las clases espectrales correspondientes, indicaron confusión entre las clases pertenecientes a una misma formación vegetal, y en el caso de matorral con algunas clases de bosque, especialmente las más heterogéneas o ralas, por lo que el proceso de clasificación se realizó en dos pasos, el primero con la totalidad de las muestras y posteriormente sólo con las correspondiente a la formación de bosque, para esto último se preparó una máscara que se aplicó al segmento textural. En ambos casos la clasificación se realizó considerando 1 desviación estándar, disminuyendo de esta forma la confusión.

En el segundo análisis (para las imágenes S5 de verano e invierno), las clases temáticas definidas fueron las que se señalan en la tabla 2, con los respectivos rangos estadísticos de clases texturales.

**Tabla 2. Clases temáticas, valores mínimos y máximos de textura.**

CLASE	FEBRERO S5	OCTUBRE S5	FEBRERO F4 (3X3)	DESCRIPCION
NPCO1	100 – 160 (42 – 94)	106 – 132 (67 – 99)	21 – 84	Lenga densa (cob. 75 a 100 %)
NPCO2	100 – 168 (48 – 94)	106 – 138 (65 – 95)	21- 63	Lenga semidensa (cob. 50 a 75 %)
NACO1	100 – 155 (61 – 94)	106 – 196 (74 – 93)	21 – 84	Nirre denso (cob. 75 a 100 %)
NACO2	100 – 132 (55 – 94)	106 – 151 (74 – 99)	21 – 63	Nirre semidenso (cob. 50 a 75 %)
NA 1	100 – 139	112 – 170 (67 – 86)	-----	Nirre ralo (cob menor a 50 %) achaparrado
NBCO1	100 – 132 (55 – 87)	112 – 158 (67 – 93)	21 – 63	Coigue de Magallanes denso
NBCO2	113 – 139 (74 – 94)	112 – 164 (61 – 86)	21 – 63	Coigue de Magallanes semidenso
MATORRAL	113 – 139 (74 – 94)	112 – 170 (80 – 89)	63 – 127 (31 – 62)	Matorral denso y regular
PRADERA	160 – 190	180 – 222	63 – 106	Pradera regular

La tabla indica los rangos de textura de cada clase temática, para la imagen de febrero y octubre. Los valores en paréntesis corresponden a las zonas intervenidas al interior de los bosques (por procesos naturales o cosechas). La escala textural utilizada se definió en un rango de 0 a 255, siendo los valores más altos los correspondientes a las clases de mayor homogeneidad, como praderas y turbas y los valores más bajos a las zonas heterogéneas como bosques ralos.

Un primer análisis visual de la información de la imágenes originales y de textura indican que en las imágenes de textura se tiende a agrupar las áreas de clases texturales similares, presentando una mayor correspondencia con la distribución espacial y una relación con la densidad de los bosques. Este hecho en las clasificaciones digitales (figura 5 y 6) se ve corroborado, identificándose en verde las zonas de bosques de menor regularidad y en café las de mayor regularidad.

La primera clasificación digital, con la totalidad de las muestras (figura 6), separa las tres formaciones vegetales de mayor presencia en el área que son los bosques, los matorrales leñosos bajos y las praderas, incluyéndose en esta formación las turbas (no son diferenciables de la pradera), resultados similares son descritos por estudios realizados sobre imágenes SAR (Bijker, 1996; Dominic Sacales et al, 1996).

En la clasificación sólo de los bosques, considerando las distintas muestras de estos, la separación se produce sólo a nivel de la mayor o menor densidad o regularidad de los bosques, no importando el origen (especie, sobremadurez o intervención humana), así por ejemplo quedan clasificados en un mismo grupo la muestra de bosque incendiado, la de intervención silvícola (cosecha) y los bosques ralos por sobremadurez. En otro grupo se separa los bosques de densidades regulares independiente de la composición.

Finalmente, se evidencia también que la clasificación de los bosques utilizando textura, las zonas de topografía ondulada a plana no cambia la clasificación, en la figura 6 se identifican dos situaciones similares en pendientes diferentes.

En el análisis textural de las imágenes de febrero y octubre se tiene, a partir de los datos estadísticos, que la imagen de octubre presenta valores texturales mayores que la de febrero para todas las clases como un efecto de la mayor humedad presente en el suelo y por encontrarse los bosques con hojas en estado inicial de desarrollo. Por otro lado los valores indican que los bosques ralos y semidensos aparecen en ambas fechas con valores máximos menores a los que presentan los bosques densos. Esta última situación se presenta claramente en la figura 7, donde se presenta un bosque de lenga en ambas fechas, en febrero se puede apreciar en la parte central tonos claros que corresponden al área intervenida, pero con bajo contraste con el entorno del bosque, y en octubre la misma zona con mayor contraste debido a que el mayor contenido de humedad tiende a homogeneizar los pastos, matorrales y residuos presentes, esto es producto también del estado fenológico de los árboles que en octubre tienen hojas incipientes. Cuando se

presenta esta situación en bosques ralos se tienden a confundir no precisándose con claridad la existencia de bosques, es el caso del bosque de firre ralo que se encuentra en la parte superior de las imágenes, que se puede visualizar en tono oscuro en febrero y más claro en octubre.

### Conclusiones.

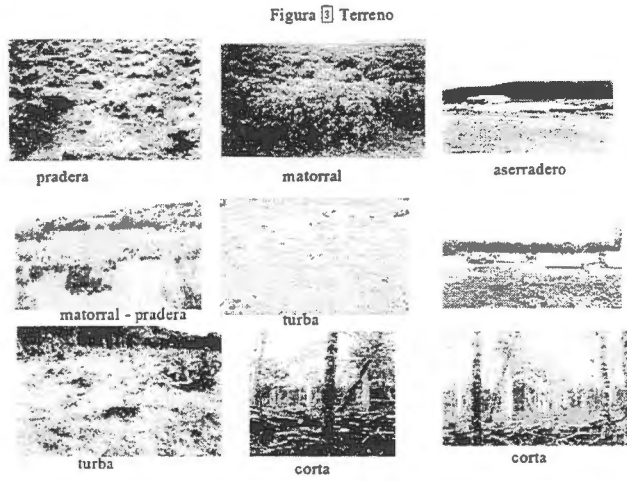
De lo expuesto se concluye lo siguiente:

- a) Los datos se encuentran en directa relación con la densidad y uniformidad de los bosques, partiendo de este hecho es posible inferir que si se parte de una situación inicial conocida es posible identificar los cambios por intervención humana, como incendios y cosechas, en un periodo de tiempo dado.
- b) La densidad y composición del sotobosque no modifica la condición de alteración o discontinuidad de los bosques, es el caso de los bosques de firre que se caracterizan por ser ralos y con abundante sotobosque, clasificándose de igual forma en el grupo de los bosques discontinuos (figura 5). No obstante esta situación se ve alterada en presencia de altos contenidos de humedad en el sitio, tal es el caso de la imagen de octubre.
- c) En el caso de los renovales densos, estos quedaron clasificados en el grupo de los bosques homogéneos.
- d) Los cambios en las condiciones ambientales y los distintos estados fenológicos de los bosques modifican la textura contrastando los lugares intervenidos en bosques densos o regulares y homogeneizando los lugares intervenidos en el caso de bosques ralos.
- e) La textura y en especial el algoritmo de homogeneidad utilizado en este trabajo constituye una buena herramienta para separar los grupos de bosques según la heterogeneidad o continuidad que presentan y en consecuencia para realizar seguimiento de las alteraciones en el tiempo.

### Referencias

- Bijker, W. 1996.** Radar rain forest a monitoring system for land cover change in the Colombian Amazon. Proceedings of an International Seminar on The Use and Applications of ERS in Latin America, Viña del Mar, Chile, 25-29 noviembre.
- Breedlove Dennis and Associates, Inc. 1995.** Clasificación digital supervisada de imágenes TM (1994) de cobertura del suelo.
- Castro, R. Locomas, R. Araneda. P. 1996.** Cartografía vegetacional de la Región de Magallanes, escala 1:100.000. Proyecto SIG Regional. Intendencia XII Región.
- Harms, J. 1996.** Map and Monitor the rice crop area in Indonesia. Applications Achievements of ERS-1. ESA SP\_1176/II.
- Kuntz, S. Wanninger, K, 1995.** ERS-1 data for monitoring rainforest conversion and land-use planning in the province of Kalimantan Timur in Borneo. ERS-1. ESA SP\_1176/II.
- Maligreau, J.P, Aschbacher, F. Achard, J. Conway, F. De Grandi, M. Leysen, 1994.** TREES ERS-1 Study 94: Assessment of the Usefulness and Relevance of ERS - 1 for TREES. Proceedings of the First ERS - 1 Pilot Project Workshop, Toledo. España.
- Salgado, H. Stella, M. 1996.** Estimación del estado hídrico del suelo mediante imágenes ERS-1 SAR. Proceedings of an International Seminar on The Use and Applications of ERS in Latin America, Viña del Mar, Chile, 25-29 noviembre.
- Scales D. Keil, M. Schmidt, M. Kux, H. Dos Santos, J. 1996.** Use of multitemporal ERS-1 SAR data for rainforest monitoring in acre, Brazil, within a German/Brazilian Cooperation Project. Proceedings of an International Seminar on The Use and Applications of ERS in Latin America, Viña del Mar, Chile, 25-29 noviembre.
- Wooding, M. Batts. Brown, . 1996.** Assessment of ERS-1 SAR data for monitoring deforestation LAM-4 Rondonia, Brazil. Proceedings of an International Seminar on The Use and Applications of ERS in Latin America, Viña del Mar, Chile, 25-29 noviembre.

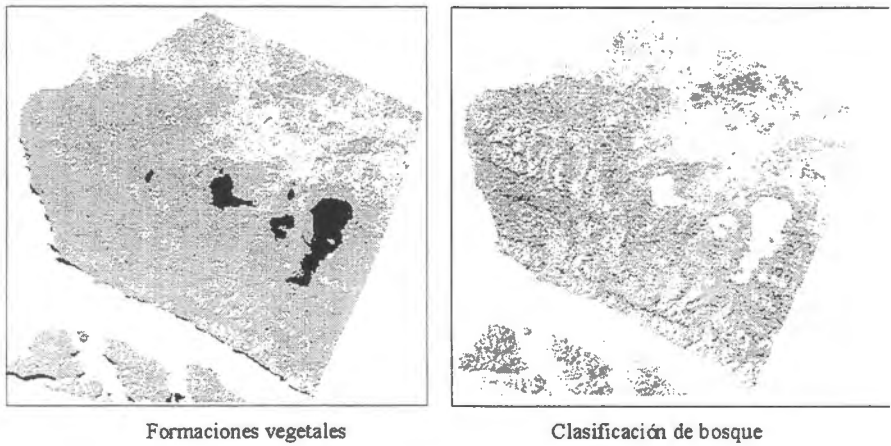
**Figura 3. Fotos de terreno, febrero 1997**



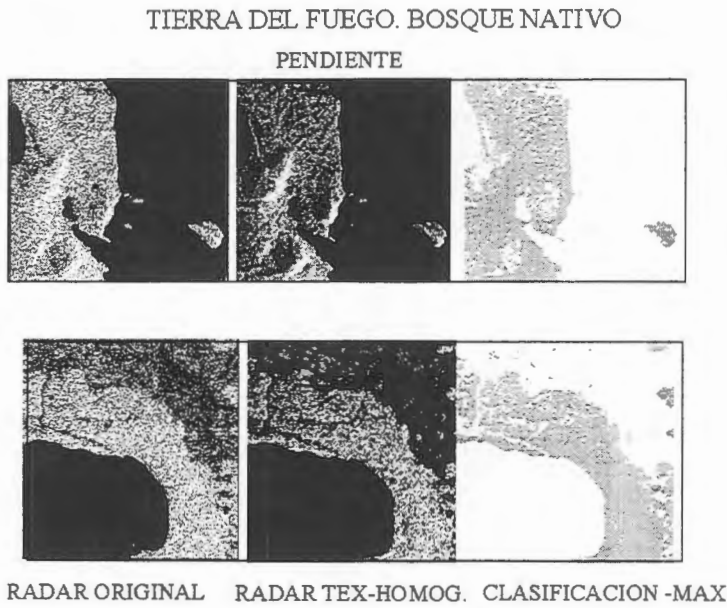
**Figura 4. Fotos terreno, octubre de 1997**



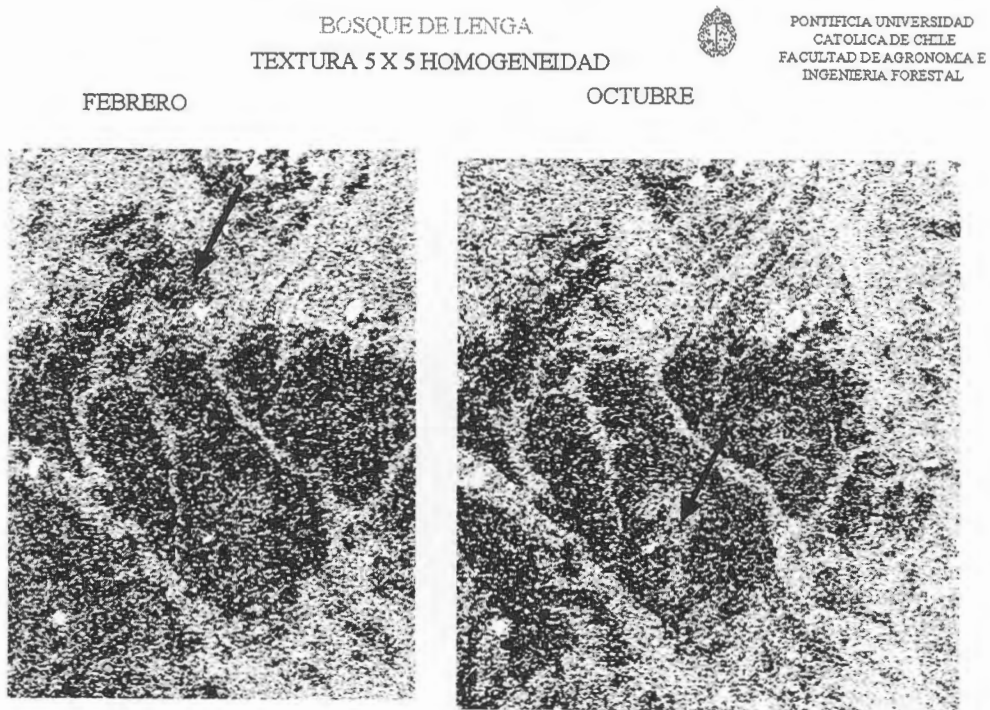
**Figura 5. Clasificación supervisada de textura**



**Figura 6. Clasificación en distintas pendiente.**



**Figura 7. Comparación multitemporal de textura. RADARSAT.**



# INTERPRETACIÓN DE BOSQUES SECOS Y HÚMEDOS DEL PERÚ A PARTIR DE IMÁGENES RADARSAT

Espinel, Luis(\*); Barrena, Victor(\*); Garnica, Carlos(\*); Malleux, Rocio(\*)

(\*) Laboratorio de Teledecepción Aplicada y SIG.  
Fac. de Ciencias Forestales - Univ. Nacional Agraria La Molina.  
Av. La Universidad s/n. La Molina Apto. 456. Lima. Perú  
Telefax: (51) (1) 349 2041  
Email: [espinel@lamolina.edu.pe](mailto:espinel@lamolina.edu.pe)  
[vbarrena@lamolina.edu.pe](mailto:vbarrena@lamolina.edu.pe)

## RESUMEN

El Perú cuenta con 72 793 000 ha de bosques naturales de los cuales en su mayoría, son húmedos tropicales. De los otros tipos de bosque existentes sobresalen los bosques secos del Nor-oeste con más de 500 000 ha de superficie.

En la evaluación y cartografiado de este bosque se ha utilizado tanto fotografías aéreas como imágenes de satélite ópticas. La existencia en el mercado de imágenes de radar satelitales nos da la posibilidad de utilizar esta nueva herramienta en la evaluación de nuestros bosques.

El presente trabajo muestra los avances realizados por la UNALM en la interpretación de imágenes RADARSAT en la estratificación de bosques en el Perú. Para ello se han elegido dos áreas representativas de éstos con el fin de analizar las posibilidades de interpretación de dichas imágenes: una se encuentra en el bosque húmedo tropical (Pachitea) y la otra en los bosques secos tropicales del Nor-oeste (Coto de Caza El Angolo).

Luego de procesadas, estas imágenes fueron interpretadas visualmente. Estos primeros resultados indican que de acuerdo al tipo de imágenes RADARSAT utilizadas, solo se puede utilizar el criterio fisiográfico para estratificar los bosques húmedos y secos del Perú.

## Introducción

Los usos económicos que se dan a los bosques en el Perú son múltiples. Los bosques húmedos son fuentes de recursos forestales (madera, flores, cortezas) y de fauna (carne de monte, mascotas) principalmente. Por su parte, los bosques secos están vedados por ley como fuente de madera por la sobreexplotación habida en décadas pasadas, pero no por ello dejan de tener valor económico, como por ejemplo como habitats de fauna.

Desde que las aerofotografías e imágenes de satélites aparecieron, el estudio e interpretación de bosques a partir de ellas es una práctica común y de gran ayuda para los evaluadores y planificadores de recursos naturales.

En el Perú, estas imágenes son usadas en la forestería principalmente para cartografiar la vegetación, evaluar y estratificar el bosque con fines de muestreo, estudiar la deforestación y en general para monitorear cambios en la vegetación, particularmente la de los bosques amazónicos.

En la Facultad de Ciencias Forestales de la UNALM se desarrolló en 1971 el primer sistema de estratificación forestal con fotografías aéreas, sistema todavía aplicado. Luego, en 1992 y siguiendo la misma aproximación se implementó un sistema para la interpretación de imágenes ópticas con fines forestales

El desarrollo de imágenes de radar satelitales plantea la alternativa de usarlas para el estudio de estos recursos y por lo tanto, la necesidad de interpretarlas desde un punto de vista forestal y de los recursos naturales existentes en estos bosques.



El objetivo general del presente estudio es investigar el uso de las imágenes RADARSAT en la interpretación de bosques en el Perú y establecer los criterios de interpretación de estos tipos de imágenes. En este artículo se presentan los avances de este estudio.

### **Revisión de literatura**

Las imágenes de satélite son efectivas en la mapeación de la vegetación porque permiten que un gran volumen de información referente a las características de sitio y fisonomía de la vegetación, sea interpretado en corto tiempo. Una ventaja de este trabajo es que se inicia a partir de una estructuración del paisaje, tomando en cuenta todos los tipos de vegetación (Barrena y Figallo, 1992).

Se puede decir que la clasificación de la vegetación tiene como objetivos identificar unidades de vegetación coherentes con una composición de especies característica, que se repiten en el espacio y en el tiempo.

En cambio en bosques húmedos tropicales, los principios de clasificación tradicionales han sido difíciles de aplicar, porque consumen demasiado tiempo en la evaluación de la composición florística de esta vegetación. Esto es debido a que estos bosques son sumamente complejos en relación a otros de climas templados. Esta complejidad se refleja en su composición florística y en su estructura (Kalliola *et al.*, 1991).

Por otro lado Loetsch y Haller (1973) indican que estratificación significa separación de una población heterogénea en subpoblaciones que tienen menor desviación estándar que la población original. En cuanto a la evaluación de campo, la estratificación permite reducir considerablemente el número de parcelas y por lo tanto, permite reducir también los costos de evaluación. Si bien clasificación y estratificación pueden tener significados diferentes, en el caso de la forestería práctica, pueden ser considerados sinónimos.

La fisonomía y la estructura son las características más saltantes que se pueden reconocer en la mayoría de las imágenes existentes, por lo que es conveniente usar la fisonomía como una primera etapa para clasificar las imágenes. La fisonomía es la apariencia de la vegetación, independientemente de su composición florística y está constituida por la cobertura (densidad y altura relativa) junto con la distribución horizontal y vertical. La estructura por otro lado, nos describe la altura y cobertura de cada estrato individual de una comunidad vegetal (Carneiro, 1980).

Malleux (1971) desarrolla el primer sistema de estratificación forestal con fotografías aéreas, sistema todavía aplicado. Éste se basa en un criterio fisiográfico en una primera etapa y luego en un criterio florístico en una segunda. Una ventaja de este método es que la evaluación puede ser llevada usando criterios iguales para grandes áreas.

Luego, y siguiendo estos principios, Barrena y Figallo (1992), desarrollan un sistema para la interpretación de imágenes ópticas con fines forestales, lo que ya se venía aplicando en cierta manera desde 1989. Al igual que el sistema anterior, el primer criterio utilizado es el fisiográfico y el segundo es el vigor de la vegetación pero expresado a través de la reflectancia.

Por otro lado, en recientes estudios realizados en Acre (Brasil) sobre capacidad de las imágenes RADARSAT para el análisis del uso y cobertura de tierra en la Amazonia, Kux *et al.* (1997) luego de procesar digitalmente la imagen la interpretó visualmente. Este autor demostró la capacidad de imágenes RADARSAT, asociados a información de otros sensores e información real de tierra, para distinguir el uso de la tierra y las características de la cobertura de tierra en la Amazonia. Los efectos de un incendio, la humedad luego de una precipitación, la regeneración inicial, pastos, diferentes tamaños de aclareo y bosques pueden ser detectados con información de este sistema.

### **Características generales del área de estudio**

Se seleccionaron dos áreas de estudio, a) una situada en el bosque húmedo tropical en la cuenca del río Pachitea, en la selva central del país, y otra b) en los bosques secos del nor-oeste en el Coto de Caza El Angolo, integrante del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (Figura 1).



**Figura 1. Ubicación de las áreas de estudio**

**a) Bosque Húmedo**

El área de estudio se encuentra ubicado en la región de la selva central del País, a la margen izquierda del río Pachitea. Ecológicamente, de acuerdo al Sistema Holdridge, el área de estudio se enmarca dentro de la formación zona de vida: "Bosque Húmedo-Tropical", con una precipitación promedio total anual entre 2 000 y 2350 mm y biotemperatura media anual de 23 - 24 °C.

El relieve, en su mayor parte, está formado por superficies planas y onduladas, con pendientes entre 0 y 10 % y que, asimismo, constituyen los suelos con mayor vocación agropecuaria de la zona, mientras que las áreas más accidentadas, como colinas bajas y altas con diferentes grados de disección, presentan pendientes con un rango de 15 a 70 %, por lo que su vocación de uso está referida fundamentalmente a la producción forestal, sin descartar que las áreas con pendientes más suaves puedan servir para desarrollar cultivos permanentes y pastos.

Las actividades económicas más destacadas de la población asentada en esta zona son la agropecuaria y la extracción maderera. La producción agrícola representa un medio de autoabastecimiento y la extracción forestal está destinada a la producción de madera con fines de comercialización en el mercado externo, siendo realizada en forma tradicional, selectiva y estacional.

**b) Bosque seco**

El área de estudio se encuentra en el Coto de Caza del Angolo que posee una extensión de 65 000 ha y está situado en el departamento de Piura, al norte del Perú. Conjuntamente con el Parque Nacional

Cerros de Amotape y el Bosque Nacional de Tumbes integra la Reserva de Biósfera del Noroeste, reconocida por la UNESCO en el año 1977.

En la época de lluvias (enero a abril) se concentra cerca del 85% de la precipitación total anual mientras que la época seca (mayo a diciembre), es un periodo de escasa precipitación y de condiciones de aridez. Estos factores son variables especialmente cuando se presenta el fenómeno de El Niño.

El paisaje está conformado por un conjunto de colinas bajas y medianas, interrumpidas por quebradas de amplitud y régimen variable. El rango altitudinal varía desde los 540 msnm hasta los 1 613 msnm.

En todo el bosque seco existe una veda forestal desde hace unos 20 años, prohibiendo la extracción de madera para parquet, aserrío, leña y carbón. Esta área es un Coto de Caza donde existe una población de venado gris (*Odocoileus virginianus*).

El área de estudio se caracteriza por 4 tipos de vegetación de la zona de influencia de la Reserva de Biósfera del Noroeste los cuales son Ceibal, Chaparral, Algarrobal y Monte perennifolio.

### **Metodología**

Las imágenes utilizadas para realizar este estudio fueron imágenes RADARSAT siendo para la primera área una imagen ascendente de haz estándar modo 4 (41° - 46°) tomada el 26 de agosto de 1997 de la que se extrajo una sub-escena de 2 048 píxeles por 2 048 líneas, y para la segunda área, se analizó una imagen ascendente de haz estándar modo 4 tomada el 29 de julio de 1997 de la que se extrajo una sub-escena de 2 200 píxeles por 2 200 líneas. Estas imágenes fueron tratadas digitalmente con ayuda del software RADARSOFT ver 6.1.

Se procedió a reducir de 16 a 8 bits a ambas imágenes para continuar con el filtrado de ellas. Se probaron diversos filtros como FKuan (3x3), FKuan (5x5), FKuan (7x7), FeLee (7x7), FGamma (7x7), FeFrost (5x5), FFrost (7x7).

Las imágenes resultantes del bosque húmedo y del bosque seco fueron comparadas visualmente para seleccionar la mejor. A la imagen filtrada seleccionada de cada bosque, se le aplicó el Análisis Textural probándose a su vez varias opciones. Finalmente, estas imágenes, fueron realizadas de varias maneras : elongación lineal, por histograma, no lineal, entre otros.

La imagen mejor realizada para cada bosque, fue interpretada visualmente con el objetivo de obtener un mapa forestal de cada área. Para ello se aplicó primero un criterio fisiográfico y luego se intentó encontrar diferencias debidas a la vegetación dentro de cada estrato fisiográfico. La delimitación de los estratos se realizó en el mismo software por medio de vectores.

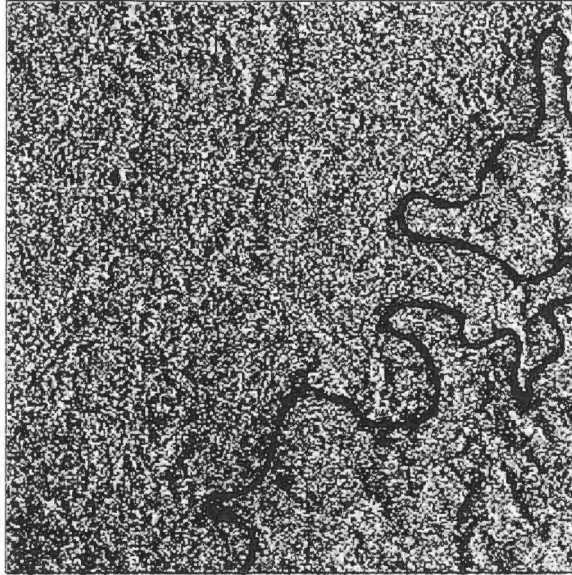
En el caso de la imagen del bosque seco, se comparó con otros trabajos hechos con fotografías aéreas y con una imagen Landsat-MSS. En el caso de la imagen correspondiente al bosque húmedo, se comparó a su vez con trabajos hechos con fotos aéreas

### **Resultados y Discusión**

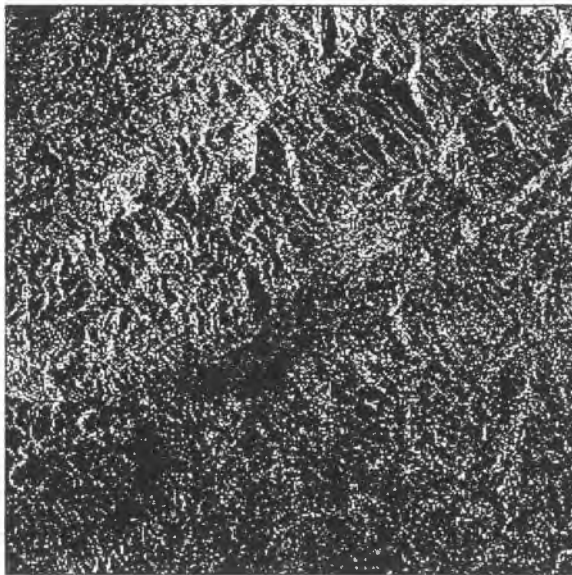
De los filtros aplicados, el que dio mejor resultado en ambas imágenes fue el FeLee (7x7). Debido a que en ambas imágenes tenían texturas prácticamente uniformes, en particular la del bosque húmedo, el Análisis textural no brindó un mejor resultado para la interpretación.

El mejor realce fue el no lineal, que es el más adecuado en estos casos cuando una imagen de radar es interpretada visualmente. Las imágenes resultantes se muestran en la Figura 2 para el bosque húmedo y en la Figura 3 para el bosque seco.

Se puede observar que las características que se pueden diferenciar es la hidrografía principal (Fig. 2) y la fisiografía. No se puede distinguir adecuadamente los cursos de los ríos secundarios porque no son demasiado anchos para ser distinguidos. No se pudo encontrar diferencias debidas a la cobertura vegetal, a pesar que el dosel superior es muy irregular en el bosque húmedo y a pesar de las



**Figura 2 : Imagen RADARSAT - bosque húmedo**



**Figura 3 : Imagen RADARSAT - bosque seco**

diferencias de densidad en el bosque seco. Las únicas diferencias que se encontró en la imagen del bosque seco estaría más correlacionada con la disección del terreno que con las diferencias de la vegetación.

Debido a ello, la interpretación que se realizó se basó en la fisiografía, además de que es la característica más saltante en las imágenes, también por existir una gran correlación entre la fisiografía y la distribución de la vegetación. Hay que mencionar que este criterio también es utilizado con fotografías aéreas e imágenes ópticas

Para realizar la interpretación se elaboró una clave basada en la fisiografía en la que se desarrollan dos categorías fisiográficas. En primer lugar se determinaron los siguientes tipos fisiográficos en función al paisaje : Montañoso, colinas altas, colinas bajas, terrazas y terrazas disectadas.

A partir de este primer nivel, se hizo una subdivisión de los tipos fisiográficos, de acuerdo a la topografía y microrelieve de las parcelas obteniéndose un segundo nivel de detalle, que considera dos subclases: I y II.

Esta clave de interpretación es la siguiente:

### **Terrazas**

#### a) Terraza I:

Son aquellas áreas libres de inundaciones por el hecho de estar ubicadas en partes relativamente altas y/o con una ligera pendiente que permite un buen drenaje del suelo. Estas terrazas están definidas como terrazas baja o aluvial, con una pendiente de 0,5 - 1 % terreno plano; buenas posibilidades de agua por estar al pie de las quebradas con agua temporal. En las imágenes se presentan con una textura muy suave.

#### b) Terraza disectada

Se definen como terrenos ondulados de pendientes suaves que pueden a veces ser confundidos con terrazas largas. Ellas pueden estar surcadas por quebradas secas, con agua en época de lluvias. Presentan una textura suave, con tonos claros o oscuros dependiendo del grado de disección, aparentemente.

#### c) Terraza II:

Estas presentan una altura relativa sobre el río de más de 10 m. Presentan buen drenaje, un rigor de la vegetación de bueno a muy bueno. Están definidas como terrazas altas con pendientes que varían entre 0 - 20%, que corresponden a sistema de terraza alta ondulada, plana a inclinada, moderado o escarpado. pueden presentarse en tonos claros.

### **Sistema de colinas**

#### a) Colina baja I y II

Este tipo fisiográfico presenta formaciones con elevaciones de mediana altura, con pendientes generalmente pronunciadas es decir, un terreno con áreas inclinadas, surcado por quebradas con agua en la época de lluvia.

Las colinas bajas I y II se diferencian debido a que la colina baja II presenta pendientes mas pronunciadas y con terrenos mas inclinados que las colinas bajas I.

#### b) Colina alta

Este tipo fisiográfico comprende pendientes de 44 - 88 %, es decir, terreno escarpado a muy escarpado, con quebradas secas de menor posibilidad de agua de lluvia en su cauce. Los suelos son superficiales entre 0,1 - 0,4 de profundidad.

##### Colina Alta I :

Esta unidad representa a la agrupación de colinas cuya altura relativa es hasta 70%. El vigor de la vegetación disminuye a medida que se hacen más severas las condiciones fisiográficas así, la vegetación ubicada en la cumbre de las colinas es baja y de poco vigor, debido a las condiciones atmosféricas más severas y a la erosión.

##### Colina Alta II :

Esta unidad esta compuesta por colinas de una altura relativa hasta de 120 m y con pendientes que pasan los 80% con cierta frecuencia, por lo cual toda actividad humana es difícil.

#### Sistema de montañas

Esta unidad esta formada por cerros bastante altos (más de 120m de altura relativa) y con pendientes muy pronunciadas, por lo cual se hace necesario tomar medidas de protección para mantener el recurso y evitar la erosión.

Las montañas I se diferencia de la montaña II debido a que esta última categoría presenta cerros más altos y con pendientes más pronunciadas que las Montaña I.

Los resultados de la interpretación de la imagen del bosque húmedo se muestra en la Figura 4 mientras que la del bosque seco en la Figura 5

Se puede indicar que el nivel al que se ha llegado en esta interpretación ha dependido del tipo de imagen utilizada pues no se han podido detectar diferencias debidas a la vegetación, particularmente en la imagen del bosque húmedo. Imágenes RADARSAT con mayores ángulos de incidencia y/o en modo fino podrían mejorar esta interpretación, en donde sí se podría llegar a un segundo nivel de estratificación relacionado con la textura que presentarían en dichas imágenes las diferentes coberturas arbóreas.

#### Conclusiones y Recomendaciones

Se puede concluir que los detalles que se pueden diferenciar con las imágenes RADARSAT utilizadas son la hidrografía y la fisiografía. Por ello, el criterio para interpretar estas imágenes es el fisiográfico, que está correlacionado con la vegetación.

No es posible distinguir diferencias de cobertura vegetal con las imágenes RADARSAT utilizadas.

Se recomienda utilizar imágenes RADARSAT con mayores ángulos de incidencia o imágenes multitemporales o combinar éstas con imágenes ópticas.

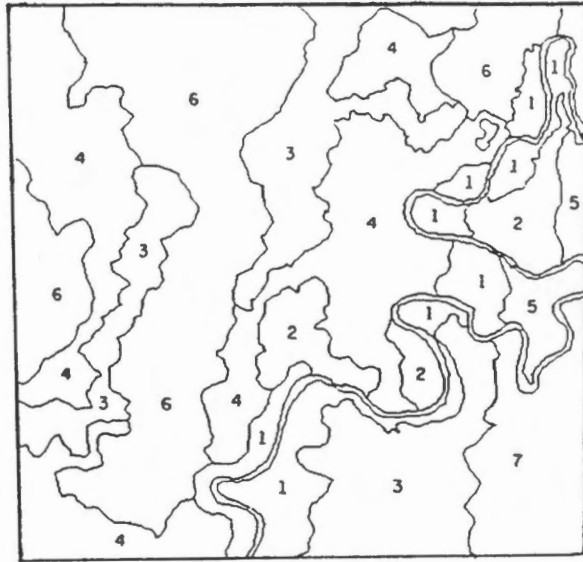
#### Bibliografía

BARRENA, V.; FIGALLO, C. 1992. La estratificación de bosques húmedos tropicales mediante imágenes de percepción remota *en* Symposium sobre actividades espaciales en el Perú. CONIDA - CONCYTEC - CIP. 8 p.

CCT. s/f. Tratamiento de imágenes RADAR y extracción de información. Manual de trabajo. GLOBESAR 2. Natural Resources Canada. Ottawa, Canada. s/p.



- COSTA, M.; NOVO E.; MITSUO II, F.; MANTOVANI, J.; BALLESTER, M.; AHERN, F. 1997. Classification of Floodplain Habitats (Lago Grande, Brazilian Amazon) with RADARSAT and JERS - 1 Data. *in* Simposio Internacional La geomática en la era de RADARSAT. Mayo 1997. Ottawa, Canada. 11 pp.
- FIGALLO, C. 1997. Análisis digital de imágenes de satélite para la clasificación del bosque seco del nor - oeste peruano. Tesis para optar el Título de Ingeniero Forestal. UNALM. Perú. 119 p. + anexos.
- KUX, H.; SANTOS DOS, J.; LACRUZ, M.; AHERN, F.; PIETSCH, R. 1997. Capabilities of RADARSAT Data for Land use / Land cover Analysis in SW Amazonia (Test site Acre, Brazil) . *in* Simposio Internacional La geomática en la era de RADARSAT. Mayo 1997. Ottawa, Canada. 11 pp.
- MALLEUX, J. 1971. Estratificación forestal con uso de fotografías aéreas. UNALM/Univ. Carolina del Norte. 82 p.
- MERZOUK, A.; DHMAN, H.; ABDELLAOUI, B.; MEJJATI ALAMI, M. 1997. Atlantia Plains Forest and Cover Mapping from C-band SAR Imagery: Moroccan GLOBESAR program. . *in* Simposio Internacional La geomática en la era de RADARSAT. Mayo 1997. Ottawa, Canada. 11 pp.
- ONERN, 1983. Inventario y Evaluación semidetallada de los recursos naturales de la zona de del río Pachitea. Perú. 119 p. + anexos y mapas.



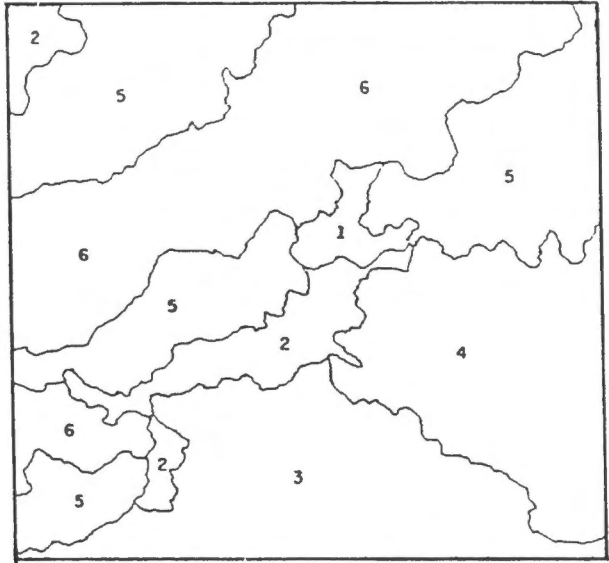
Escala aproximada : 1 / 300 000

Mapa orientado al Norte

Leyenda:

- |   |                   |
|---|-------------------|
| 1 | Terraza I         |
| 2 | Terraza disectada |
| 3 | Terraza II        |
| 4 | Colina baja I     |
| 5 | Colina baja II    |
| 6 | Colina alta I     |
| 7 | Colina alta II    |

**Figura 4 :** Resultado de la interpretación de la imagen RADARSAT - bosque húmedo



Escala aproximada : 1 / 400 000

Mapa orientado al Norte

Leyenda:

- 1 Terraza II
- 2 Terraza disectada
- 3 Colina alta I
- 4 Colina alta II
- 5 Montaña I
- 6 Montaña II

**Figura 5 :** Resultado de la interpretación de la imagen RADARSAT - bosque seco

# UTILIZACION DE RADARSAT 1 EN EL ESTUDIO DE LOS RELICTOS DE SELVA EN LA ZONA CAFETERA CENTRAL DE COLOMBIA

**Jaime Eduardo Jaramillo Echeverri**  
**Gustavo Adolfo Ochoa Villegas**

Centro Regional de Estudios Cafeteros y Empresariales - CRECE -  
Colonia Escolar La Enea Kilometro 11 vía al Magdalena  
Apartado Aéreo 1129  
Manizales, Colombia  
Email : cre\_jeje@andi.org.co

## RESUMEN

En este documento se describen algunas de las actividades desarrolladas en el proyecto de investigación "Utilización de RADARSAT 1 en el estudio de los relictos de selva en la zona cafetera central de Colombia", como parte del programa GLOBESAR 2. El objetivo fundamental de este proyecto está basado en la evaluación de la aplicación de las imágenes de Radar en zonas, que como la cafetera central de Colombia, presentan amplia variabilidad de topografía y usos del suelo. Para la etapa que en este documento se describe, se utilizaron dos imágenes en modo fino: F2 tomada el 14 de diciembre de 1997 y F5 tomada el 7 de diciembre del mismo año. De dichas imágenes se seleccionaron ventanas de trabajo, a las cuales se les realizó un proceso de ortorectificación, con la ayuda del modelo de elevación digital (DEM) creado a partir de la cartografía básica del país en escala 1:25.000. Se utilizaron fotografías aéreas 1:40.000, puntos de control tomados con la ayuda de un GPS, e información cartográfica adicional: redes de drenaje, redes viales. Se redujo el speckle con la aplicación del filtro Gamma de 3x3, y se trató de realizar una interpretación visual sin obtener de esta resultados muy alentadores.

## Antecedentes

La región central cafetera de Colombia, situada en la región andina, ha experimentado un intenso proceso de transformación. Como resultado de este proceso, se ha producido una fragmentación de los ecosistemas naturales. En la actualidad, solo quedan unos pocos relictos de selva distribuidos como islas a lo largo y ancho de la zona cafetera.

Debido al grado de transformación y deterioro de la región cafetera central de Colombia, su estado ha sido calificado como **crítico** en un estudio recientemente realizado por el Banco Mundial y el Fondo Mundial para la Protección de la Fauna (Dinerstein et al. 1995). De acuerdo con esa calificación, los pocos fragmentos aislados que quedan tienen pocas probabilidades de subsistir por más de 5-10 años. Se estima que la supervivencia de esos parches de selva dependerá enteramente de los esfuerzos que se realicen en forma inmediata y continua por su restauración y conservación (Dinerstein et al. 1995).

Esos relictos de las selvas nativas de la región se han convertido en verdaderos ecosistemas estratégicos, con grandes valores científicos, ecológicos y educativos y un importante potencial económico. Sin embargo, pocos estudios se han hecho o se están haciendo en la zona cafetera central.

En términos generales esos relictos no reciben protección legal. El único Parque Nacional de la zona es el Parque de los Nevados, que no incluye el piso térmico en donde se ubica la zona cafetera. Por esta razón, el estudio de estos relictos y el desarrollo de planes de manejo y conservación adquiere un carácter urgente.

## Introducción

La finalidad del proyecto va mas allá de los propósitos netamente académicos. Pretende situar a los responsables políticos y económicos en la dimensión espacial de los fenómenos de degradación ambiental. Igualmente busca brindar elementos de juicio para los tomadores de decisiones, de tal suerte que las políticas de sostenibilidad ambiental, y los planes de manejo físico, económico y social que se desarrollen en estas regiones, tengan un fundamento científico y técnico justificado por metodologías mundialmente aceptadas.

Colombia se encuentra entre los países con mayor densidad poblacional en Latinoamérica y es una de las naciones con mayor tasa anual de deforestación. El proceso de colonización ha sido el causante del 76.3 por ciento de la deforestación de los bosques naturales (DNP, 1990 y 1994).

La deforestación no tiene que ser necesariamente dañina ni tampoco debe ser considerada como una actividad prohibida. Todo depende del grado, magnitud o intensidad con que se practique; de su ubicación en el espacio geográfico y ecológico; de su duración en el tiempo y del destino final del área deforestada. Bajo tales consideraciones, la deforestación puede ser o no pernicioso y, finalmente, derivar hacia un proceso agudo, y hasta irreversible de degradación.

En consecuencia, el uso inadecuado de tierras forestales en labores agrícolas o ganaderas, o simplemente la ausencia de la cobertura forestal, originan un aumento de la erosión, la degradación de suelos, la destrucción del hábitat de la fauna y flora, la disminución de la densidad biológica, la desestabilización de las cuencas hidrográficas y el incremento de los riesgos de inundaciones en los valles de las áreas deforestadas. La tala y quema de los recursos forestales también reduce la capacidad del sistema natural para contrarrestar la contaminación atmosférica con bióxido de carbono (DNP, 1994, FAO, 1986).

El panorama descrito, ha constituido en las últimas décadas, una de las principales preocupaciones de la comunidad internacional.

Para garantizar el desarrollo sostenible de los relictos de selva, su conservación, restauración o sustitución, se debe contar con dispositivos legales, con instrumentos para el fomento del sector forestal, con lineamientos metodológicos y técnicos basados en los levantamientos ecológicos o integrales del paisaje y con un esquema claro de evaluación de tierras. (Instituto Geográfico Agustín Codazzi SIG-PAFC, Septiembre de 1995).

## **Objetivos**

### **General**

- Estudiar los relictos de selva de la zona cafetera central de Colombia, y permitir el desarrollo de planes para su manejo.

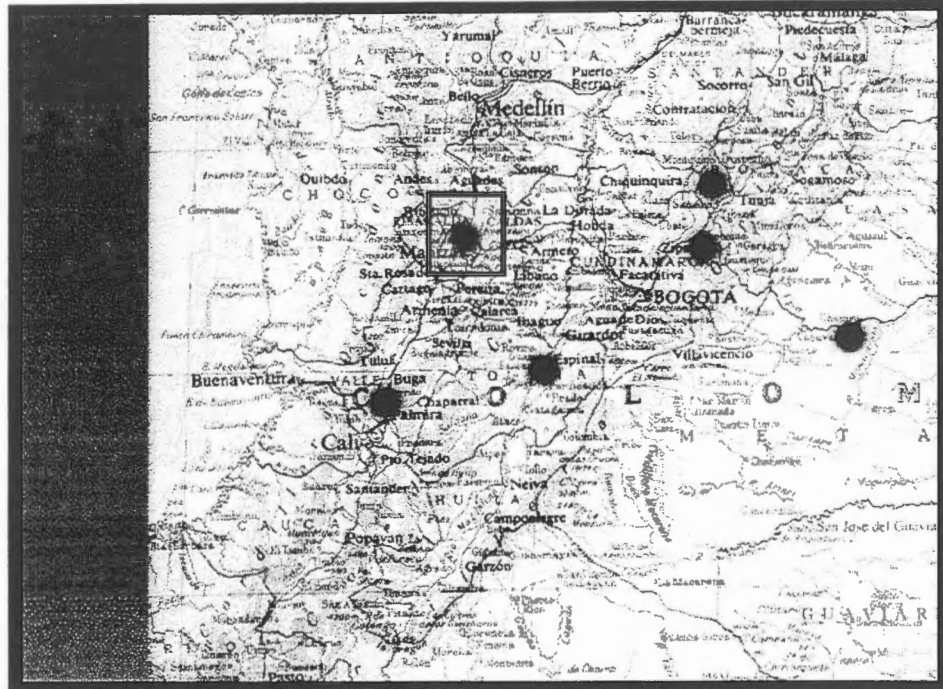
### **Específicos**

- Evaluar la aplicación y utilidad de RADARSAT 1 en zonas andinas como la cafetera central de Colombia.
- Estudiar las características geográficas y físicas, analizando factores como la distribución espacial de los relictos, sus tamaños, sus formas, las distancias entre ellos, los corredores que los unen, las conexiones y las barreras, y en general la matriz de la región en la cual se encuentran.
- Permitir con los resultados de la investigación el desarrollo de programas de manejo, conservación y restauración de esos relictos. Esos programas incluirán el uso científico, educativo y económico en forma sostenible.
- Concientizar a la comunidad nacional e internacional sobre la importancia del manejo sostenible de los relictos de selva de la zona cafetera central de Colombia.

## Area de Estudio

Para esta primera etapa de la investigación se seleccionó un área de aproximadamente 600 Km<sup>2</sup> situada en la zona cafetera central de Colombia. Cubre parte de los Municipios de Manizales, Chinchiná, Palestina y Villamaria en el Departamento de Caldas, y se localizan allí ciudades muy importantes desde el punto de vista de la producción cafetera como son Manizales, Chinchiná y Palestina. Se encuentran pendientes desde la plana a la fuertemente quebrada, en alturas que varían desde los 950 hasta los 2250 metros sobre el nivel del mar. Se presenta una gran diversidad en los usos del suelo, principalmente Café, plátano y guadua, y en menor importancia pastos, caña, maíz, frutales, y unos pocos forestales. Las temperaturas varían entre los 16°C y los 26°C, con períodos de lluvias distribuidos durante todo el año.

**Fig. 1 Ubicación general del Proyecto**



## Metodología

Para la realización de éste estudio se cuenta con tres imágenes en modo standard S2, S4 y S7; y dos en modo fino F2 y F5.

**Tabla 1 Características de las imágenes RADARSAT 1 Disponibles**

	*	*	**	**	**
Identificación de la imagen	MO149599	MO149598	MO112842	MO149474	MO118159
Fecha de Adquisición	Dic 14/97	Dic 07/97	May 02/97	Ago 23/97	Jun 22/97
Modo	F2-SGF	F5-SGF	S2-SGF	S4-SGF	S7-SGF
Orbita	11025 Asc	10925 Asc	7795 Asc	9410 Asc	8524 Asc
Angulo de Incidencia	39-42	45-48	24-31	34-40	45-49
Tamaño del Pixel (M)	6.25x6.25	6.25x6.25	12.5x12.5	12.5x12.5	12.5x12.5
Latitud del Centro	4°54'N	4°55'N	5°03'N	5°07'N	5°06'N
Longitud del Centro	75°32'W	75°30'W	75°27'W	75°09'W	75°21'W
Número de Líneas	8012	7996	8294	7795	8123
Número de Pixeles	6789	6103	9059	8972	8947



\*De estas imágenes se utilizó una subescena para efectos de realizar el proceso de evaluación de la utilidad de RADARSAT 1 en este tipo de aplicaciones. Corresponden también con la primera etapa de la investigación, a nivel de estudio de caso, en donde se ha buscado maximizar la información del uso del suelo en la zona.

\*\*Se planea en una segunda etapa de la investigación, integrar las imágenes en modo fino con las disponibles en modo standard para realizar una comparación multitemporal, tratando de ver si este proceso mejora la discriminación de los usos del suelo en estas zonas.

Adicional a la anterior información se cuenta con una imagen Landsat TM <sup>1</sup> tomada en 1995, sin embargo no se ha utilizado aún, dado que antes de realizar el sinergismo Radarsat-Landsat, se ha buscado evaluar ampliamente las características del SAR en esta aplicación concreta.

Para complementar la información que esta investigación requiere, se cuenta con fotografías aéreas posteriores a 1990, cartografía topográfica de la zona de estudio en varias escalas, incluyendo el DEM generado a partir de la cartografía básica escala 1:25.000, con intervalo de curvas de 50 mts. Se ha recolectado información actualizada de las redes viales existentes en la zona, y se dispone de mapas temáticos de diferentes fuentes y en diferentes escalas.

Una vez que la zona de estudio fue seleccionada, y la imagen fue adquirida, se creó una subescena utilizando Imageworks de PCI (File/Browse/Utilities/Subset). La subescena se creó para las imágenes F2 y F5. Con estas dos nuevas imágenes se procedió a realizar la corrección geométrica, para lo cual se adoptó el procedimiento que se describe en la figura 2.<sup>2</sup>

Previo a la determinación de los puntos de control GCPs, se creó el DEM para la zona de estudio, utilizando la base altimétrica digital con curvas de nivel cada 50 mt. Una vez generado se creó un canal con una pseudo imagen geocodificada que simula una imagen SAR (SARSIM2 en PCI).

El objeto de crear la nueva imagen simulando una imagen SAR obedeció a la necesidad de ubicar puntos de control utilizando el sistema de puntos homólogos, en donde la primera imagen es la subescena original sin ortorectificar, y la segunda es la imagen SAR simulada a partir del DEM.

Se ubicaron un total de 48 GCPs por puntos homólogos, y cuatro puntos levantados con GPS. Se calculó el modelo geométrico utilizando 44 GCPs y dejando los restantes 8 como puntos de chequeo con el objeto de minimizar el error medio cuadrático. La altura Z de los puntos de control fue tomada del modelo de elevación DEM utilizando el programa GCPELEV de PCI. Como resultado se obtuvo un RMS final de 5.43 mt.

Con los parámetros de orbita y utilizando el algoritmo de los mínimos cuadrados se ajustó el modelo geométrico que se utilizó para realizar la ortorectificación de las subescenas en la proyección geométrica definida por el modelo de elevación digital.

Una vez ambas subescenas fueron ortorectificadas, se realizó una verificación de campo para tratar de establecer algún tipo de patrón que nos permitiera diferenciar los relictos de selva objeto de nuestra investigación.

Posteriormente se realizó una interpretación visual de las imágenes, cuyo resultado se cruzó con la información temática disponible referente a los usos actuales del suelo del área de estudio.

## Resultados

De esta primera etapa de la investigación no se obtuvieron resultados concretos frente a nuestro objetivo principal consistente en diferenciar los relictos de selva de la zona cafetera central de

<sup>1</sup> National Aeronautics and Space Administration - NASA -. USA

<sup>2</sup> TOUTIN, Thierry. Multisource data fusion with an integrated and unified geometric modelling.

Colombia utilizando para ello las imágenes de RADARSAT 1. Sin embargo se obtuvieron productos secundarios bastante importantes para lograr caracterizar la zona de estudio. De estos productos podemos citar:

- Imágenes actualizadas y ortorectificadas que facilitan a través de un análisis complementario con otras fuentes de información temática el estudio de características físicas diferentes al uso del suelo. (Fig. 3.)
- Una base de datos de GCPs que permitirá iniciar el proceso de generación de un modelo de elevación del terreno DEM a partir de las imágenes de radar.
- El marco metodológico para realizar el proceso de ortorectificación y el posterior sinergismo con la información temática complementaria.

### **Conclusiones**

- De nuestros primeros resultados podemos concluir que es muy difícil diferenciar varios tipos de uso del suelo en zonas de pendiente como la cafetera central de Colombia. Sin embargo se realizará un enmascaramiento de las imágenes para eliminar áreas en donde (1) No es posible por las condiciones bióticas de los relictos facilitar su crecimiento y desarrollo (2) En donde las pendientes no sobrepasen el 30 o el 35 por ciento, con el objeto de buscar diferencias significativas entre éstos relictos y el principal uso del suelo de la región: el Café.
- El café, principal uso del suelo en la región, no se puede distinguir de los relictos de selva, ya que existen muchas maneras de cultivarlo. Esto es, se pueden encontrar cultivos tecnificados de café con patrones definidos de siembra (distancias homogéneas entre plantas, orientaciones de acuerdo con la luz del sol y las pendientes del terreno, etc), así mismo se pueden encontrar cafetales entremezclados con forestales, maíz, caña de azúcar, yuca o cítricos. (Fig. 4.)
- La guadua en algunos casos se puede distinguir claramente, sin embargo por efectos del relieve y las altas pendientes es posible confundirla con las sombras inherentes a la imagen.
- La combinación de imágenes de radar y Landsat ayudan bastante a mejorar la clasificación del uso del suelo en terrenos pendientes, no obstante en esta fase de la investigación no se han realizado aun clasificaciones supervisadas o no supervisadas para evaluar la precisión de dicho sinergismo.
- La clasificación utilizando solamente el SAR no ha sido probada para discriminar diferentes usos del suelo.
- Las imágenes de radar utilizadas en esta primera etapa de la investigación, no han sido de mucha utilidad para extraer información cualitativa referente a la cobertura de vegetación y su discriminación. No obstante lo anterior si se han podido utilizar para otros fines como la extracción de información geológica y geomorfológica.
- Se espera que con la utilización de todas las imágenes disponibles, y la realización de un análisis multitemporal se pueda mejorar la calidad de la información que sobre el uso del suelo se ha obtenido hasta ahora.

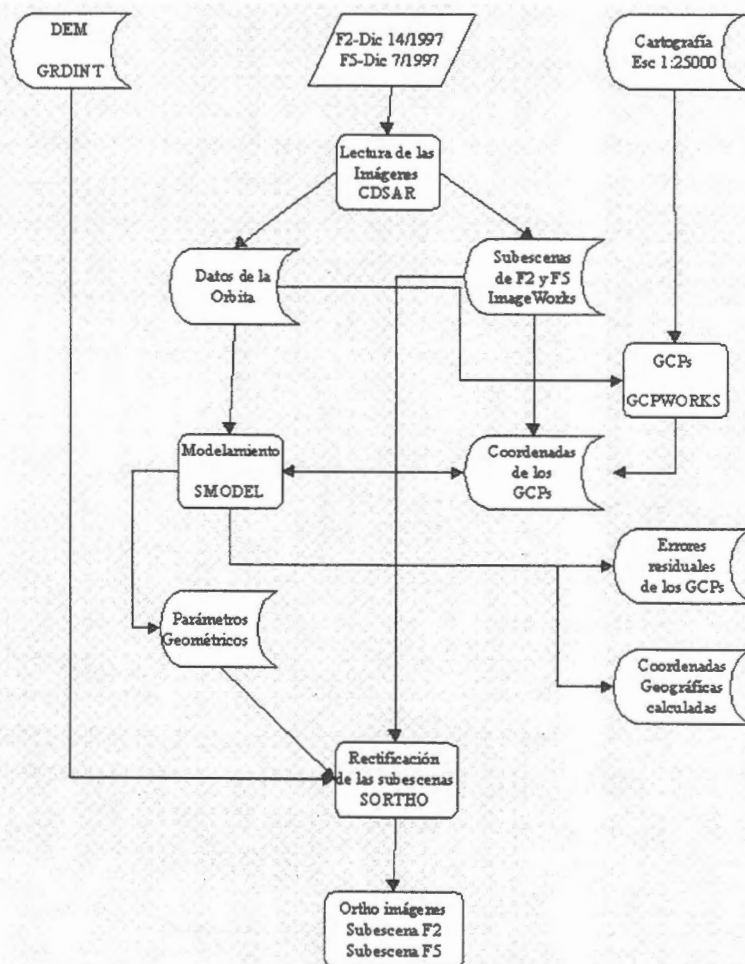
### **Agradecimientos**

Esta primera etapa de la investigación hace parte del programa GLOBESAR 2, y como tal ha contado con la especial colaboración y asistencia del CCRS, y de los investigadores Vernon Singhroy, Cristhine Hutton y Chantal Delorme.

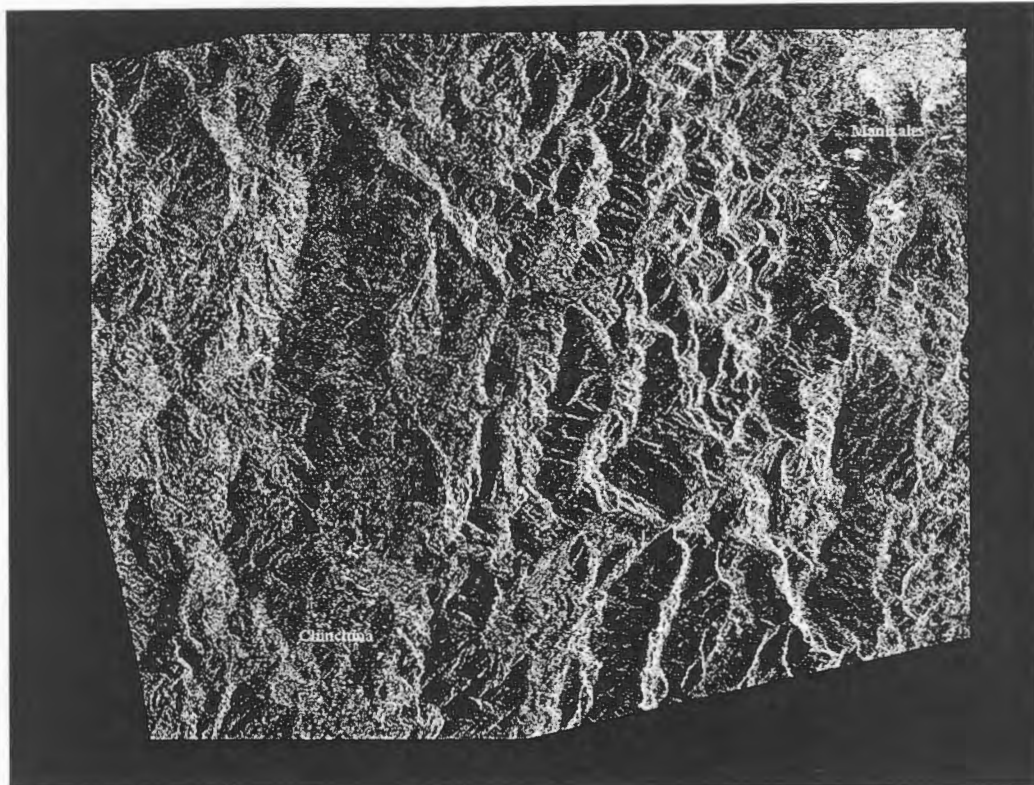
### **Referencias y literatura consultada**

- Dinerstein, E., D.M. Olson, D.J. Graham, A.L. Webster, S.A. Primm, M.P. Bookbinder y G. Ledec. 1995. A conservation assessment of the terrestrial ecoregions of Latin America and the Caribbean. El Banco Mundial y el Fondo Mundial para la Naturaleza, Washington, D.C. 129 pp.
- INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI. Revista informativa del proyecto SIG-PAFC. SantaFé de Bogotá D.C., Año 2 Número 7, Septiembre de 1995. Pág 8-10.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION. Planificación territorial para el desarrollo y la conservación de los recursos renovables de la amazonía. PAFC. Proyecto Col /90/004/01/99. Bogotá, 1990. s/p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION. El plan de acción forestal para Colombia en la Revolución Pacífica. 1990-1994. Santafé de Bogotá, 1994. pp. 69.
- FAO. Evaluación de tierras con énfasis forestal. Roma, 1986. 106 p.
- TOUTIN, T. 1995. Multisource data fusion with an integrated and unified geometric modeling. EARSIL Advances in Remote Sensing. Vol. 4, N2 - X., p. 118-129.

**Fig. 2 Procedimiento para la ortorectificación. (Adaptado de Toutin T. 1995)**

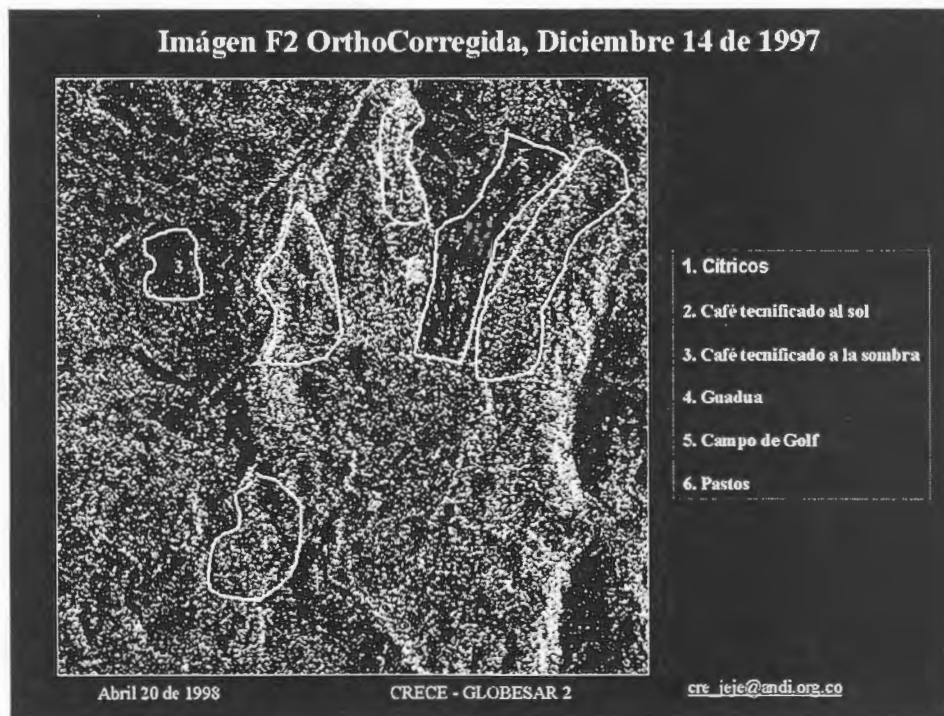


**Fig. 3. Subescena de la imagen F2 Ortocorregida, Dic 14 de 1997.**



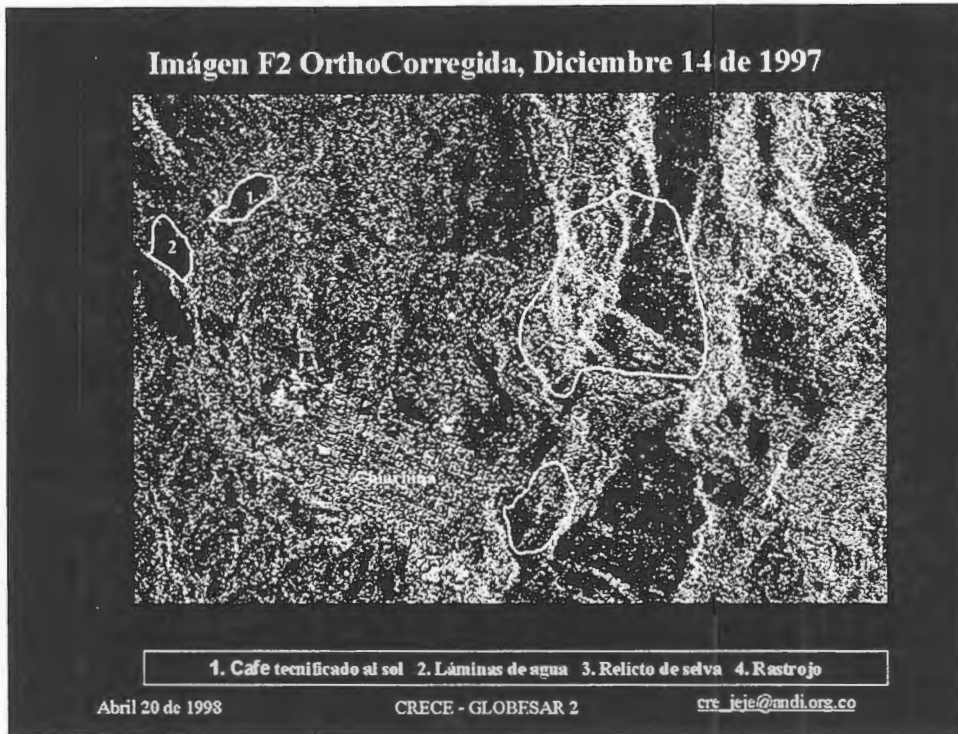
Se pueden observar en esta subescena las diferencias importantes de relieve que se presentan, sobre todo hacia la zona occidental de la imagen.

**Fig. 4.**



Es importante destacar en esta figura que no existen diferencias significativas en zonas como la (1) y la (6), sin embargo son usos del suelo con características muy diferentes, el primero corresponde a un cultivo de naranjas y el (6) a una pradera natural. Igualmente entre la (2) y la (4), en donde no se diferencia el café tecnificado de la guadua.

**Fig. 5.**



En esta figura, los relictos de selva objeto del estudio (3) en las zonas iluminadas guardan una similitud bastante grande con áreas como los rastrojos (4), en las zonas sin iluminación directa las sombras hacen que el patrón se asimile a cafetales tecnificados como el existente en el polígono No 1.

# Identificación de “sabanas nativas” en los llanos Colombianos mediante imágenes RADARSAT multi-estacionales: resultados preliminares

## Proyecto Colombia-8

**Nathalie Beaulieu, Patrick Hill, Germán Escobar y Tomás Romero,**  
Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), AA 6713, Cali, Colombia  
n.beaulieu@cgnet.com, p.hill@gis.ciat.cgiar.org, b.escobar@cgnet.com

### RESUMEN

Este artículo describe los resultados preliminares de un estudio cuyo objetivo es cartografiar las áreas de pastos naturales o “sabanas nativas” en los llanos orientales de Colombia. Hasta la fecha, se han adquirido cuatro imágenes de RADARSAT en modo estándar en distintos períodos del año y se han realizado mediciones de campo en 81 parcelas simultáneamente y después de tres de estas adquisiciones. El análisis de la relación entre el coeficiente de retrodispersión  $\sigma^0$  y la fitomasa para los pastos naturales y sembrados indica que los pastos naturales tienden a tener valores de  $\sigma^0$  inferiores a los de los pastos sembrados, aun cuando presentan una biomasa elevada. Con excepción de la imagen que fue adquirida en condiciones de lluvia, el promedio del coeficiente de retrodispersión por parcela, medido sobre imágenes de  $\sigma^0$  en unidades de potencia, raramente sobrepasaba valores de  $-13$  dB para los pastos naturales. La mayoría de las parcelas de pastos introducidos presentaron promedios superiores a este valor, aunque algunos no. La próxima etapa de nuestro estudio consistirá en la clasificación de las imágenes individuales y combinadas, lo que nos permitirá comparar las imágenes adquiridas en diferentes períodos del año. Sin embargo, en esta etapa preliminar, la imagen que presentó diferencias más marcadas entre pastos naturales y sembrados fue la del 2 de mayo de 1997, adquirida unos dos meses después del inicio de las lluvias, pero para la cual no había llovido desde hacía dos días. La adquisición de imágenes durante la estación de lluvia es posible mediante una estrategia de adquisición donde se programan adquisiciones de respaldo y se procesan los datos solamente cuando el usuario ha confirmado que las condiciones climáticas fueron favorables.

### Introducción

La identificación de las áreas bajo pastos naturales, en particular su distinción con respecto a áreas sembradas con pastos introducidos, tiene una gran importancia para el manejo de las tierras en la región. En el sector conocido como la *altillanura*, los pastos naturales representan áreas donde existen opciones de intensificación del uso de la tierra. Por otro lado, en otros sectores, el suelo es demasiado frágil para que se pueda intensificar la agricultura. El objetivo del presente estudio es desarrollar una metodología para identificar y cartografiar las áreas que permanecen bajo pastos naturales o “sabanas nativas” en los llanos orientales de Colombia, con el más alto grado de confianza posible. Este objetivo a corto plazo se enmarca en uno más general y a un plazo más largo, el cual consiste en cartografiar el uso actual de la tierra y la degradación de los pastizales en los llanos colombianos mediante imágenes de varios sensores remotos.

Para apoyar un estudio del CIAT sobre los aspectos socioeconómicos del uso de la tierra en esta región (Smith *et al.*, 1997), se hizo un intento de clasificar los tipos de pastos mediante una imagen Landsat TM (Crawford, 1996). Desafortunadamente, el humo afectaba una gran parte de la imagen estudiada. No se pudo obtener otra imagen Landsat TM despejada de nuestra zona para los últimos tres años, a pesar de la estación seca que afecta la zona entre diciembre y marzo. En efecto, durante la estación seca, el humo producido por las quemaduras se vuelve el factor limitante en la adquisición de imágenes del dominio óptico. Aún en las zonas no afectadas por el humo, no se logró distinguir con claridad las áreas bajo pastos naturales e introducidos por causa de los diferentes estados de crecimiento de las sabanas nativas después de la quema y por causa de los diferentes niveles de degradación y cobertura del suelo en los pastos introducidos. Girard y Rippstein (1994) obtuvieron buenos resultados para la caracterización de los pastos y sabanas en la región de Carimagua usando imágenes multiespectrales del satélite SPOT, pero sin lograr distinguir los pastos naturales de los sembrados en muchos casos. Por otro lado, Kelldorfer *et al.* (1994) reportaron resultados muy alentadores usando imágenes del



satélite ERS-1 para la identificación de praderas en Europa. En efecto, las praderas mostraron una tonalidad más oscura que la de los cultivos y un coeficiente de retrodispersión relativamente estable, independientemente de los cortes, mientras que mostraban mucha variación en la respuesta espectral de una misma imagen Landsat TM. Estos autores obtuvieron mejores resultados en la clasificación de las praderas con imágenes ERS-1 de diferentes fechas que con una imagen Landsat TM. Sin embargo, la utilización de imágenes de radar para distinguir praderas naturales con respecto a áreas sembradas con pastos introducidos es otro desafío, que pudimos enfrentar gracias al programa GLOBESAR-2.

Por causa de las quemas que afectan los pastos naturales y de las variaciones en las condiciones de humedad, es probable que la combinación de imágenes adquiridas en diferentes períodos del año mejorará las posibilidades de distinguir entre las áreas con pastos naturales y sembrados. Sin embargo, si fuera posible lograr tal distinción con una sola imagen RADARSAT, queremos saber en cuales condiciones adquirirla para aumentar nuestras probabilidades de éxito.

### **La zona de estudio**

Nuestra zona de estudio se encuentra al sur del Río Meta, entre las ciudades de Puerto López y Puerto Gaitán, en el municipio de Puerto López, departamento del Meta. Esta zona muestra dos tipos de paisaje distintos, según su geomorfología, ambos formando parte de los llanos orientales de Colombia. Las cuencas de los ríos Yuca y Manacacías se caracterizan por una geomorfología de *serranía* con un relieve ondulado hasta bastante escarpado. Adyacente a la ribera sur del río Meta se encuentra una franja de *altillanura*, con un relieve plano a ligeramente ondulado. Al este del río Manacacías, el paisaje de altillanura se extiende en el departamento de Vichada. La serranía presenta una densidad de drenaje mayor a la de la altillanura, con suelos más arenosos y pedregosos. Al norte del río Meta se encuentra la altillanura mal drenada (o *llano inundado*), que no forma parte de nuestra zona de estudio. El cauce del río Meta se encuentra a una altitud de aproximadamente 140 m, la altillanura tiene una altitud de 200m y las colinas de la serranía alcanzan 250m al sur de nuestro sector de estudio. Se tiene una estación seca o *verano* entre diciembre y marzo. Cuando se intensifican las lluvias, muchos de los ríos que se pueden cruzar a pie durante el verano inundan sus planicies y muchos de los caminos desaparecen. Brunnschweiler (1972) presenta una descripción muy bien sintetizada del ambiente natural y de la geomorfología del departamento del Meta.

Tanto la altillanura como la serranía tienen suelos muy ácidos y de baja fertilidad. Los pastos naturales de la zona han sido tradicionalmente explotados para la ganadería extensiva; se manejan por quema por que las hierbas maduras no son tan nutritivas para el ganado como lo son los rebotes. Desde varias décadas se han introducido variedades de pasto que permiten intensificar la producción animal. Los pastos del género *Brachiaria*, originarios de Africa, se adaptan particularmente bien a los suelos de la región. Los pastos naturales. Los pastos introducidos generalmente no se queman, pero se deben manejar cuidadosamente mediante intervenciones mecánicas, la aplicación ocasional de fertilizante y, sobre todo, un pastoreo adecuado.

### **Las imágenes y los datos de campo**

Fueron planificadas tres adquisiciones de imágenes RADARSAT en modo Estándar (S6 ascendente), una el 2 de mayo y otra el 4 de diciembre de 1997, respectivamente al principio avanzado y al final de la estación lluviosa, y otra el 10 de marzo de 1998, al final de la estación seca. Se optó por imágenes de modo ascendentes por que se adquieren al atardecer, lo que minimiza los riesgos de rocío. Se decidió adquirir imágenes en modo estándar con el ángulo de incidencia lo mayor posible, por que se considera generalmente que los ángulos mayores dentro del rango permitido por el modo estándar de RADARSAT disminuyen la sensibilidad a la humedad del suelo (como lo mencionan Martin *et al*, (1989)) y aumentan la sensibilidad a la rugosidad del suelo y a la presencia de vegetación. Por ejemplo, las curvas de retrodispersión en función del ángulo de incidencia presentadas por Ulaby y Dobson (1988) para los pastos y el suelo desnudo en banda C permiten apreciar que la diferencia entre los  $\sigma^{\circ}$  de estos dos tipos de cobertura aumenta con el ángulo de incidencia. El trayecto de la radiación a través de la vegetación aumenta con el ángulo de incidencia, lo que aumenta el efecto de las características de la vegetación sobre las de la imagen. Como el modo S7 no permitía cubrir el sitio completamente, se escogió el modo S6. Por causa de un conflicto para la adquisición de la imagen del 2 de mayo, no se podía cubrir todo nuestro sitio de trabajo. La adquisición y el trabajo de campo fueron entonces

aplazados hasta el 26 de mayo, fecha en la cual llovió abundantemente en ciertos sectores de la zona cubierta por la imagen. Sin embargo, se había procedido con la adquisición de la imagen del 2 de mayo, para la cual pedimos el procesamiento para poder compararla con la del 26. Finalmente, esta imagen cubrió toda la zona de estudio y se usó para nuestro análisis. Conociendo el efecto de la lluvia sobre las tonalidades en la imagen, las adquisiciones subsecuentes fueron respaldadas por una adquisición planificada 24 días después. La Agencia Espacial Canadiense (CSA) solamente procesó los datos y anuló la adquisición de respaldo después de haber recibido nuestra confirmación de que no había llovido.

La figura 1 muestra una gráfica de la lluvia acumulada para cada día y sus dos días anteriores, medida en la estación de Santa Cruz, ubicada en la zona de estudio. Las flechas indican las adquisiciones de las imágenes RADARSAT. El 2 de mayo, la estación Santa Cruz no había registrado lluvia por 2 días, pero registró 17.5 mm el 30 de noviembre y luego 55 mm el 3 de mayo. Para la adquisición del 26 de mayo, la estación registró 63 mm y este día el acumulativo de 3 días fue de 96.5 mm. El 4 de diciembre, no se había registrado lluvia desde hacía 15 días, y la última lluvia fuerte anterior a esta fecha fue registrada el 8 de noviembre. Las condiciones eran entonces bastante secas para esta tercera adquisición. El 10 de marzo no había llovido, pero la estación Santa Cruz registró 15 mm el día anterior y 46 mm el 8 de marzo. Para la primera y la última adquisición entonces, se supone que la vegetación estaba vigorosa por el aporte de lluvia de los días anteriores, pero que la superficie del suelo estaba relativamente seca.

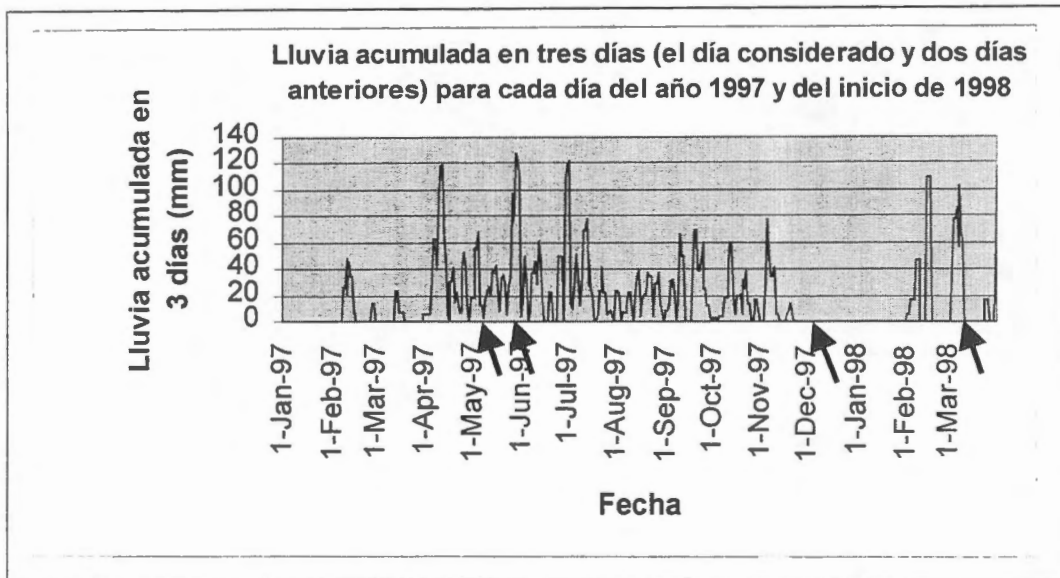


Figura 1: Gráfica de la lluvia acumulada para cada día y sus dos días anteriores para 1997 y el inicio de 1998. Las flechas indican las fechas de adquisición de las imágenes RADARSAT.

Se realizaron mediciones de campo simultáneamente y después de las adquisiciones del 26 de mayo, del 4 de diciembre y del 10 de marzo. En varias parcelas de más de 4 hectáreas, delimitadas con un Sistema de Posicionamiento Global (GPS), se evaluó la altura promedio de las plantas, se midió la biomasa en 5 muestras de 1 m<sup>2</sup>, se estimó la cobertura vegetal y se describió la composición florística de los pastizales. Las mediciones y observaciones fueron complementadas con varias fotografías en cada parcela. Se estudiaron principalmente parcelas de sabana nativa y de pastos sembrados, estos últimos siendo mayoritariamente del género *Brachiaria*. Para fines de comparación, se estudiaron también parcelas de pastos y sábanas con árboles, plantaciones de caucho y cultivos de piña. En el mes de mayo se definieron 55 parcelas que también se caracterizaron en diciembre, cuando se definieron 26 parcelas adicionales. 16 del total de las parcelas se encuentran en el paisaje de la serranía y las demás en la altillanura. En todos los casos, se escogieron parcelas en terreno plano, o casi plano. Solamente se tomaron muestras de suelo durante las adquisiciones del 26 de mayo (en 14 parcelas) y del 10 de marzo (en 5 parcelas). Para el 26 de mayo, se notó una variación muy grande de la humedad del suelo,

los promedios de las 5 muestras tomadas por parcela variaron entre 18.1 g/100 cm<sup>3</sup> hasta 42.3 g/100 cm<sup>3</sup>. Para la adquisición del 10 de marzo, los promedios solamente variaron entre 22.6 y 26.8 g/100 cm<sup>3</sup>.

### Tratamiento digital de las imágenes

El tratamiento digital de las imágenes se realizó usando los programas del grupo PCI, versión 6.2. Para cada una de las imágenes RADARSAT recibidas, se estimó el coeficiente de retrodispersión ( $\sigma^0$ ) de cada pixel a partir Número Digital, suponiendo un terreno plano ubicado al nivel del mar. Este procedimiento se realizó según la metodología descrita por Shepherd (1997), e implementada en los programas de PCI. Para la próxima fase del proyecto, sin embargo, se tomará en cuenta la elevación y la pendiente del terreno en el cálculo de  $\sigma^0$ , gracias a la disponibilidad de un modelo de elevación digital. Para evitar el efecto del remuestreo de las imágenes, las coordenadas de las parcelas fueron proyectadas a la geometría de cada imagen, en base a puntos de control referentes a una cobertura vectorial de ríos digitalizada a partir de mapas topográficos a escala 1:25000. Los promedios y desviaciones estándares del coeficiente de retrodispersión fueron calculados para cada parcela sobre las imágenes de  $\sigma^0$  en unidades de potencia y fueron luego expresados en unidades de decibeles.

Como resultado final del proyecto, se quiere llegar a la clasificación de las imágenes, individuales y combinadas, para distinguir sabanas nativas, pastos sembrados, bosques de galería y posiblemente otras clases de vegetación. Se quiere también evaluar la veracidad de cada clasificación. Sin embargo, en este momento solamente hemos estudiado las relaciones entre algunos parámetros de las parcelas estudiadas en el campo y el coeficiente de retrodispersión medido a partir de las imágenes.

### Resultados preliminares

La primera lección que se pudo aprender de las adquisiciones de mayo se refiere al efecto de la lluvia sobre la retrodispersión en las imágenes. Dada la dependencia bien conocida del coeficiente de retrodispersión con respecto a la humedad del suelo y la presencia de gotas de agua sobre la vegetación, esto no fue una sorpresa. Pensamos sin embargo que las imágenes, mostradas en las figuras 2a) y 2b), son un buen ejemplo del hecho que la teledetección radar no se puede considerar como una herramienta "a prueba del clima" para aplicaciones agrícolas otras que las referentes a la humedad del suelo. Las flechas indican zonas de pastos muy afectadas por la lluvia, que en la imagen del 26 de mayo aparecían tan brillantes como una zona adyacente con una cobertura arbustiva considerable y bosques de galería. Se aprecian parcelas muy oscuras en el tercio superior de la imagen, que corresponden a sabanas nativas.

La figura 3 muestra las gráficas de coeficiente de retrodispersión  $\sigma^0$  en función de la fitomasa para las parcelas de sabana nativa y los pastos introducidos para las cuatro imágenes RADARSAT estudiadas, solamente para las parcelas de la altillanura. La fitomasa es el resultado del promedio de las cinco muestras tomadas en cuadros de 1 m<sup>2</sup> en cada parcela, y representa el total de la vegetación muerta y viva, sin secar. Como se mencionó anteriormente, se agregaron 26 parcelas de estudio durante las mediciones de campo de diciembre. No se habían caracterizado estas parcelas en mayo, pero omitirlas de las gráficas podría llevar a conclusiones erróneas en cuanto a la comparación de la posibilidad de distinguir los pastos introducidos de los nativos en las diferentes imágenes. En las primeras cuatro gráficas, referentes a las imágenes adquiridas en mayo, se atribuyó una fitomasa de -100 g.m<sup>-2</sup> a estas parcelas de fitomasa desconocida. Se debe también mencionar que debido a que no estuvimos en el campo para la adquisición del 2 de mayo, los valores de fitomasa usados en las dos gráficas referentes a esta fecha corresponden a las mediciones de campo realizadas a partir del 26 de mayo, hasta dos semanas después. Aún así, las sabanas nativas mostraron una relación entre  $\sigma^0$  y la fitomasa, y presentaron una saturación de  $\sigma^0$  en valores alrededor de -13 hasta -12.5 dB, aún con fitomasas superiores a 1100 g.m<sup>-2</sup>. Sin embargo, una de las parcelas de sabanas agregadas en diciembre mostró un coeficiente de retrodispersión alto, alrededor de -10.5 dB. Todas las parcelas de pastos sembrados presentaron valores de  $\sigma^0$  superiores a -13 dB, aún con una cobertura vegetal muy pobre. Esto lleva a pensar que una segmentación usando un simple umbral de -12.5 dB sobre la imagen apropiadamente filtrada o promediada podría producir una buena separación entre pastos naturales y sembrados.

Por otro lado, la imagen del 26 de mayo presentaba valores mas altos de  $\sigma^{\circ}$  para las sabanas, a causa de la humedad del suelo y de las gotas de lluvia sobre las hojas, lo que impediría su separación de los pastos sembrados. Para las imágenes de las dos adquisiciones subsecuentes, la relación entre  $\sigma^{\circ}$  y la fitomasa para las sabanas es mucho menos definida que en el caso del 2 de mayo. Sin embargo, la mayoría de las parcelas siguen con un  $\sigma^{\circ}$  inferior a los  $-13$  dB. En la imagen del 4 de diciembre, cuatro de las parcelas de pastos presentaron promedios de  $\sigma^{\circ}$  inferiores a los  $-13$  dB. Estas parcelas se caracterizaban por una cobertura vegetal pobre, con fitomasas inferiores a los  $500 \text{ g.m}^{-2}$ . Pero en el caso de la imagen del 10 de marzo, fueron 6 las parcelas de pastos sembrados con promedios de  $\sigma^{\circ}$  inferiores a los  $-13$  dB, y que se confundían entonces con las sabanas.

Antes de concluir sobre el período del año que permite una mejor distinción entre pastos naturales y sembrados, tendremos que realizar segmentaciones o clasificaciones sobre cada imagen y verificar su veracidad con respecto a observaciones del tipo de uso de la tierra que hemos hecho en más de 400 parcelas adicionales. Sin embargo, los resultados preliminares presentados aquí parecen indicar que el hecho de poder tomar imágenes algunos meses después del inicio de las lluvias (pero evitando los eventos de lluvia) sería una ventaja, por que se aumenta la retrodispersión de los pastos sembrados.

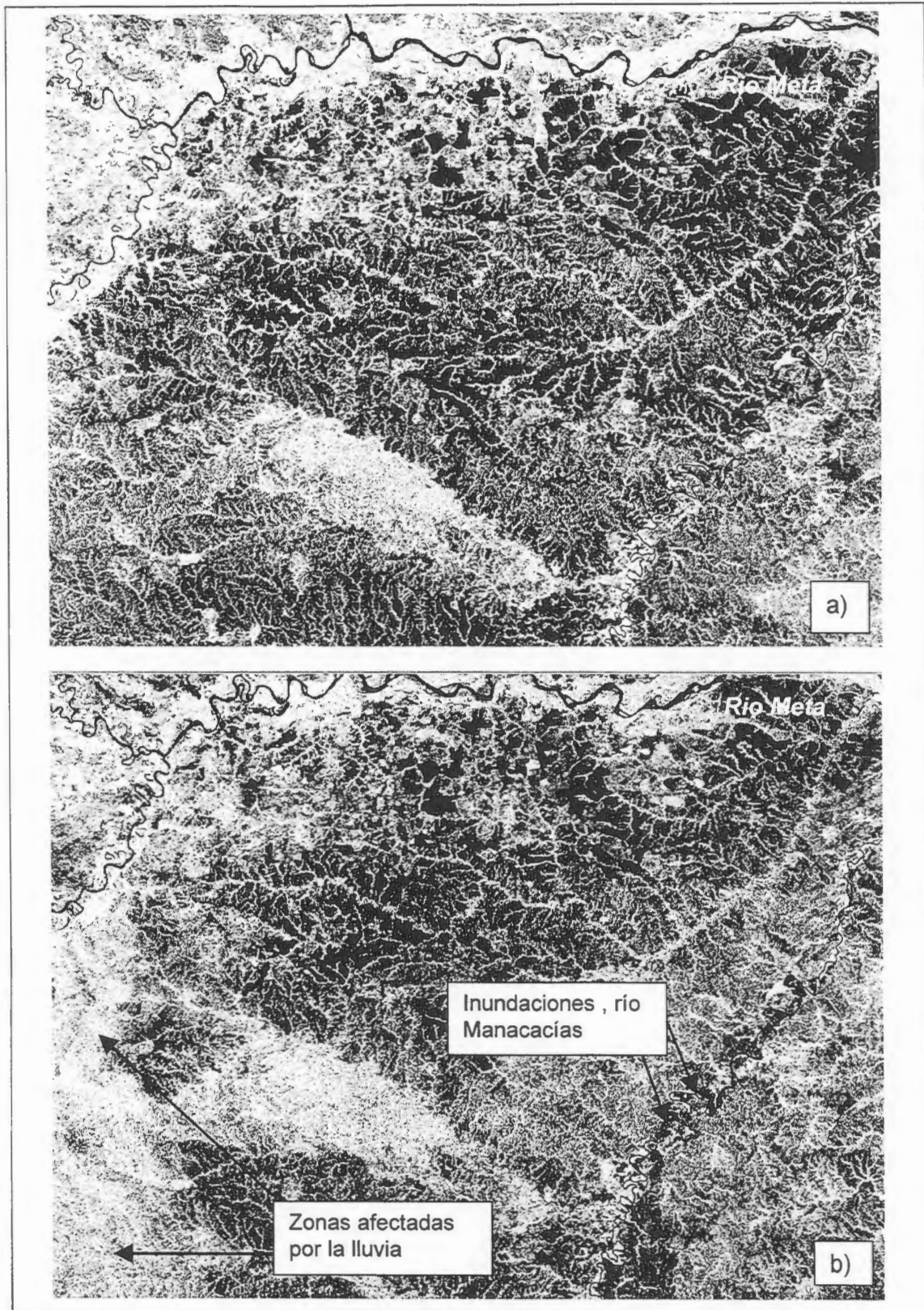


Figura 2: Porción de las imágenes RADARSAT en modo S6 ascendente del sitio de estudio, entre Puerto López y Puerto Gaitán, Meta, Colombia, sin geocodificar. a) adquisición del 2-05-98, b) adquisición del 26-05-97. Imágenes © CSA 1997



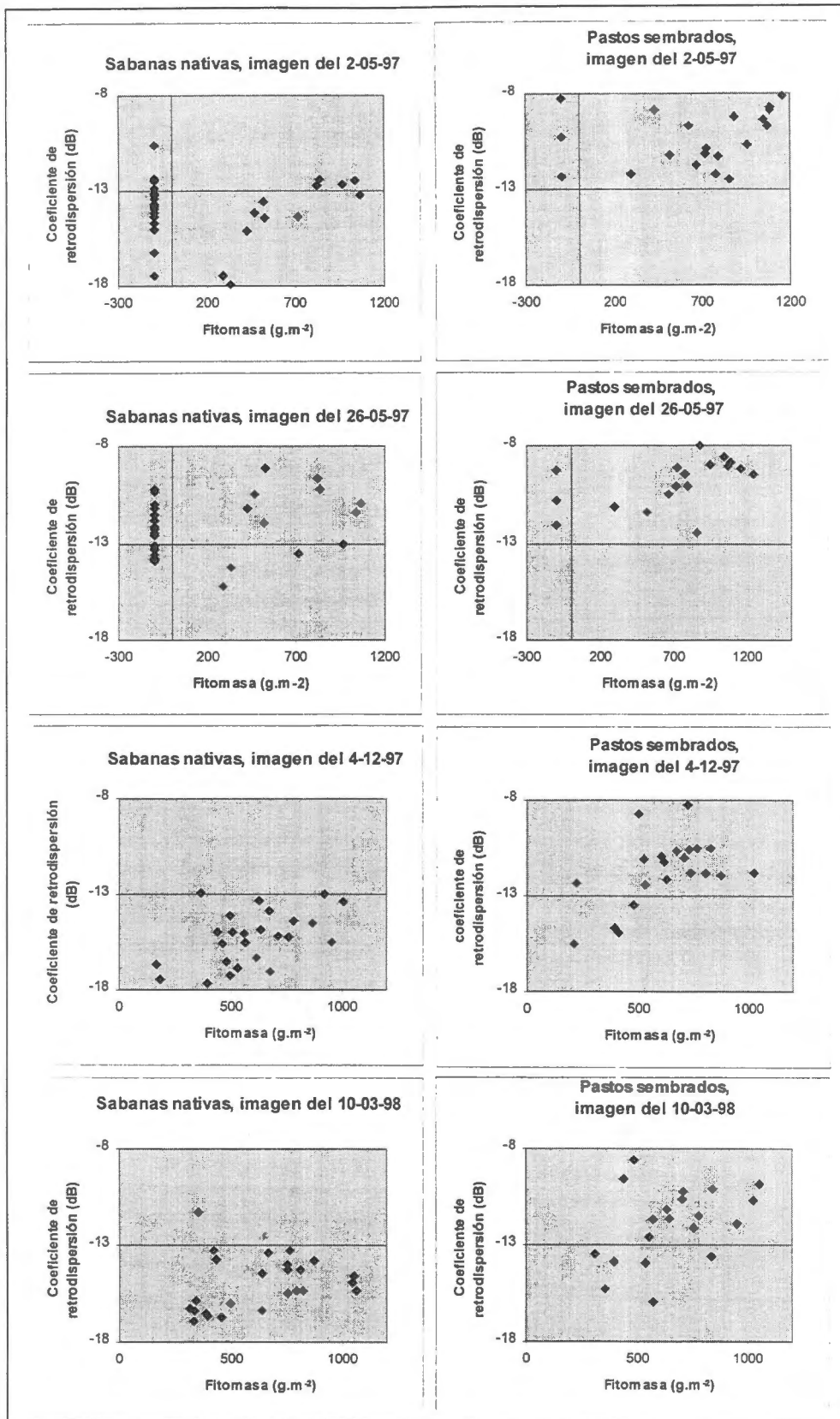


Figura 3: gráficas del coeficiente de retrodispersión  $\sigma^0$  en función de la fitomasa para las parcelas de sabana nativa (cuadros de la izquierda) y los pastos introducidos (cuadros de la derecha), para las cuatro imágenes RADARSAT estudiadas



## Discusión

Por lo general, las parcelas con pastos sembrados tienden a presentar valores promedios de  $\sigma^0$  más altos y tonos más claros que las parcelas de pastos naturales. Esto se debe probablemente a una combinación de dos factores: la arquitectura de las plantas y la rugosidad del suelo. Las hojas de las *Brachiaria* tienden a ser más anchas que las de muchas especies nativas, aunque no de todas. La especie dominante en las sabanas de la altillanura es el *Trachypogon vestitus*, comúnmente llamada *paja peluda* por que sus hojas están cubiertas de pelos. La pilosidad de las hojas podría influenciar la atenuación de la radiación a través de la cobertura vegetal. La parcela de sabana que presentó valores altos de  $\sigma^0$  en las imágenes del 2 de mayo y del 10 de marzo de 1998 era dominada por la especie *Axonopus purpusii*, con una arquitectura un poco más parecida a la de las *Brachiaria*, cuando no está florecida. Pero otras parcelas dominadas por *Axonopus purpusii* presentaron valores bajos de  $\sigma^0$  en estas imágenes, lo que sugiere tener prudencia antes de sacar conclusiones sobre el efecto de la arquitectura de las plantas. Martin *et al.* (1989) mencionan que la banda C no es muy sensible a la presencia de la vegetación de las praderas. Si este es el caso, la rugosidad del suelo sería el factor responsable de la retrodispersión más elevada de los pastos sembrados. Sin embargo, no estamos totalmente de acuerdo con la afirmación de estos autores, por lo menos con su aplicabilidad a nuestras condiciones. En efecto, para los suelos relativamente lisos de los pastos naturales, se notan muy claramente las zonas quemadas en las imágenes, lo que demuestra un cierto efecto de la vegetación. También hemos observado una ligera tendencia de incremento del coeficiente de retrodispersión en función de la biomasa, aunque no para todas las imágenes.

La rugosidad del suelo podría explicar la retrodispersión más elevada de los pastizales sembrados. Debido a la necesidad de labrar el suelo para sembrar pastos introducidos, los suelos a menudo presentan terrones y son más rugosos que los de los pastos nativos, aún años después de la siembra. Sin embargo, se necesita seguir investigando las causas de estas diferencias en la retrodispersión entre los pastos sembrados y sabanas.

## Conclusiones

Para aplicaciones agrícolas de las imágenes radar, se deben evitar los eventos de precipitación. Para las imágenes RADARSAT, se puede pedir al representante de ventas que programe una adquisición de respaldo y que haga procesar los datos solamente cuando el usuario ha confirmado que las condiciones climáticas fueron favorables.

Por lo general, las parcelas con pastos sembrados tienden a presentar valores promedios de  $\sigma^0$  más altos y tonos más claros que las parcelas de pastos naturales, aunque algunas parcelas de pastos introducidos también presentaron valores bajos de  $\sigma^0$ . Esto lleva a esperar que se pueda realizar la cartografía de las zonas bajo pastos naturales en la altillanura mediante una clasificación automática de las imágenes apropiadamente filtradas o promediadas, o mediante un levantamiento por interpretación visual. Sin embargo, en muchos sectores de la serranía, el relieve muy disectado y la pedregosidad del suelo dificultarán la clasificación de las áreas bajo pastos naturales.

## Bibliografía

- Brunnschweiler, D. (1972). The Llanos frontier of Colombia; environment and changing land use in Meta. Latin American Studies Center, Monograph N0. 9, Michigan State University. 71 p.
- Crawford, E. (1996). Landuse dynamics in the Colombian Llanos (1996). Internal technical report, CIAT PE-4 project, 12 p.
- Girard, C.M., Rippstein, G. (1994). Utilisation de données SPOT HRV pour la cartographie de savanes et pâturages dans les Llanos de Colombie. Bulletin de la Société Française de télédétection No. 133 (1994-1), p. 11-19.
- Kelldorfer, J., Schadt, R., and Mauser, W. (1992). Segmented landuse classification of multitemporal ERS-1 SAR data, Proceedings of the first ERS-1 Symposium, Cannes, France. ESA SP-359, 532-536.

Martin jr., R.D., Asrar,G., and Kanemasu, E.T. (1989). C-Band scatterometer measurements of a tallgrass prairie. *Remote Sensing of Environment*, N. 29, p. 281-292.

Shepherd, N. (1997). Extraction of Beta Nought and sigma nought from RADARSAT CDPF products. Report No. AS97-5001, Altrix Systems, Ottawa, Canada, 9p.

Smith, J., Cadavid, J.V., Rincón, A., Vera, R. (1997). Land speculation and intensification at the frontier : a seeming paradox in the Colombian Savanna. *Agricultural Systems*, Elsevier Science, Vol. 54, No. 4, pp. 501-520

Ulaby, F.T. and Dobson, M.C. (1988). *Handbook of radar scattering statistics for terrain*. Artech House, Norwood, Massachusetts, 357 p.

# ACTUALIZACIÓN DEL MAPA DEL USO DE LA TIERRA DE LA REGIÓN DE LOS MANGLARES DE TUMBES - PERÚ USANDO IMÁGENES RADARSAT

Patricia Huerta Sánchez \*, Víctor Barrena Arroyo \*, Vern H. Singhroy \*\*

\* Laboratorio de Teledetección Aplicada y SIG.  
Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional Agraria - La Molina  
Av. La Universidad s/n. Lima, Perú.  
Teléfono: (00 51)- 1- 3495647, (00 51)-1-9415238 Anexo 232. Fax: (00 51)-1-349  
Email: [880703@lamolina.edu.pe](mailto:880703@lamolina.edu.pe)  
Email: [vbarrena@lamolina.edu.pe](mailto:vbarrena@lamolina.edu.pe)

\*\* CCRS -Canada Centre for Remote Sensing  
580 Booth Street, Ottawa, Ontario K1A 0Y7.  
Teléfono: (613) 947-1215 Fax: (613) 947-1385  
Email: [vern.singhroy@ccrs.nrcan.gc.ca](mailto:vern.singhroy@ccrs.nrcan.gc.ca)

## RESUMEN

Los manglares son bosques que marcan la transición entre el mar y la tierra. Son ecosistemas forestales ubicados en zonas intermareales de los trópicos y subtropicos, cuyas especies vegetales presentan adaptaciones para sobrevivir en suelos salinos, fangosos e inundados y con deficiencia periódica de oxígeno a nivel de las raíces (CDC-UNALM, 1986).

El presente trabajo muestra los avances realizados hasta el presente por la Facultad de Ciencias Forestales de la UNALM en las investigaciones que lleva a cabo para evaluar los impactos causados por el Fenómeno del Niño. En este artículo, se muestra la capacidad de las imágenes RADARSAT para determinar las diferentes categorías de uso de la tierra en el ecosistema del manglar de Tumbes y su zona de influencia (Perú) antes del Fenómeno del Niño de 1997-1998.

La imagen RADARSAT luego de procesada y tratada fue interpretada visualmente. Los resultados obtenidos se presentan en forma de un mapa de uso de la tierra para la zona en 1997. Se concluye que con el tipo de imagen utilizada se puede estudiar la cobertura y uso de la tierra de esta región del Perú.

## Introducción

En el mundo existen alrededor de 20 millones de hectáreas de bosques de manglar, de los cuales 5 472 ha se encuentran en el Perú (CDC-UNALM, 1986), siendo el Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes el área natural protegida por el estado que protege la única muestra de este ecosistema en el país.

En 1992, la Oficina Nacional de Recursos Naturales (ONERN, hoy INRENA) realizó el monitoreo del ecosistema del manglar de Tumbes. Para tal fin utilizó dos imágenes ópticas de años diferentes. La primera, para el año 1982 fue una imagen LANDSAT-MSS y la segunda, para el año 1992, fue una imagen SPOT HRV. Como producto de este trabajo, se obtuvo dos mapas de cobertura y uso de la tierra para el ecosistema del manglar de Tumbes para los años 1982 y 1992 respectivamente.

En el presente trabajo se tiene la oportunidad de actualizar el Mapa de Uso de la Tierra de 1992 y de esta manera proporcionar información sobre los cambios producidos en esta zona norteña del Perú,

principalmente para monitorear los cambios sufridos en el área, que se encuentra constantemente afectada por tensores como langostineras, extractores de mariscos, entre otros.

Posteriormente y con una segunda imagen RADARSAT 1997, se podrá tener idea sobre los cambios producidos por el Fenómeno de El Niño 1997-1998 en este ecosistema tan propenso a sufrir modificaciones en su estructura.

Los objetivos de este estudio son:

- Actualizar la información sobre el uso de la tierra del ecosistema del manglar de Tumbes antes de los efectos del Fenómeno del Niño de 1997 - 1998.
- Analizar la capacidad de las imágenes RADARSAT para estos fines.

### **Revisión de literatura**

El ecosistema del manglar de Tumbes abarca una superficie de 4 541 ha (ONERN-ODC-FPCN, 1992) y representan desde el punto de vista biológico, la zona más productiva de la costa norte del Perú, siendo el recurso hidrobiológico de gran importancia económica y social para la población de este departamento (Clüsener, 1987). A pesar de ello, este ecosistema está propenso a constantes presiones y cambios de uso de la tierra, debido principalmente a la actividad langostinera cuya expansión ha implicado la destrucción de 1 294 ha de bosque durante el período 1982-1992 (ONERN-ODC-FPCN, 1992) y también está sujeto a la sobreexplotación de sus recursos hidrobiológicos, que en conjunto conllevan a la alteración de los ciclos hídricos y biológicos del ecosistema (CDC-UNALM, 1992).

Originalmente se consideraron como presentes en los manglares peruanos a cuatro especies : Mangle (*Rhizophora mangle*), Jeli salado (*Avicennia germinans*), Jeli de mangle (*Laguncularia racemosa*), Jeli (*Conocarpus erectus*); las que se encuentran en situación de amenaza (Chapman, 1980 citado por CDC-UNALM, 1986). El género *Rhizophora* es el que tiene mayor cobertura en el departamento de Tumbes (CDC-UNALM, 1986). La mayor diversidad se encuentra en la vegetación asociada, como en los gramadales (CDC-UNALM, 1992).

El recurso forestal en este ecosistema tiene escaso aprovechamiento, debido a su bajo volumen maderable disponible, obteniéndose tan sólo postes para construcción de los diques de las pozas langostineras y para algún otro uso local como: taninos, leña, carbón vegetal, postes para construcción, entre otros (ONERN-ODC-FPCN, 1992).

Por otro lado, la actividad turística ocurre principalmente en las playas Puerto Pizarro y Caleta Cruz de manera todavía desorganizada y sin control (CDC-UNALM, 1992).

En el área de estudio viven alrededor de 6 600 personas que se dedican a la agricultura del arroz, plátano, soya, frijol, entre otros. La agricultura es uno de los principales agentes en la economía local. Otra actividad económica muy importante es la actividad langostinera, que como ya se dijo, se ha desarrollado en detrimento de los manglares.

### **Experiencias con imágenes RADARSAT en manglares**

Existen algunos estudios sobre manglares que han utilizado imágenes de radar. Así Singrhoy (1996) utiliza imágenes SAR aerotransportado, RADARSAT e imágenes Landsat TM de manera integrada en el mapeamiento de la zona costera en Guyana. La imagen RADARSAT utilizada fue estándar de un haz en modo 7 y ascendente. Indica que las imágenes RADARSAT pueden formar parte de un sistema de alerta temprana en zonas de alto riesgo de erosión costera. Además mapea el uso de la tierra costera, particularmente en agricultura y en forestales. Proporciona una guía para la interpretación del uso de la tierra agrícola. Concluye que se puede identificar cultivos agrícolas como la cobertura forestal y localizar áreas donde los manglares se están regenerando o están en riesgo.

Por otro lado, Hasyim *et al.* (1997) hace un inventario de manglares en Indonesia usando principalmente imágenes RADARSAT y se apoya en otras como ERS, JERS y LANDSAT-TM. Indica

que es muy difícil detectar las zonas de manglares así como diferenciar tipos de bosques usando solo una imagen RADARSAT. Menciona además, que usó el análisis textural en el reconocimiento de manglares y sus cambios.

### Descripción del área de estudio

El área de estudio comprende la parte baja de las cuencas de los ríos Tumbes y Zarumilla, en el extremo noroeste del territorio peruano, entre los paralelos 3°24' LS (Punta Capones) y 3°38' LS (Caleta Cruz) y entre los meridianos 80°13' LW (Estero Hualtaco) y 80°35' LW (Caleta Cruz). La zona está comprendida entre el litoral tumbesino, la frontera con el Ecuador y la Carretera Panamericana hasta las inmediaciones con Caleta Cruz. Según Cuya (n.p) el área de estudio cubre una superficie aproximada de 28 655 ha. (Figura 1).

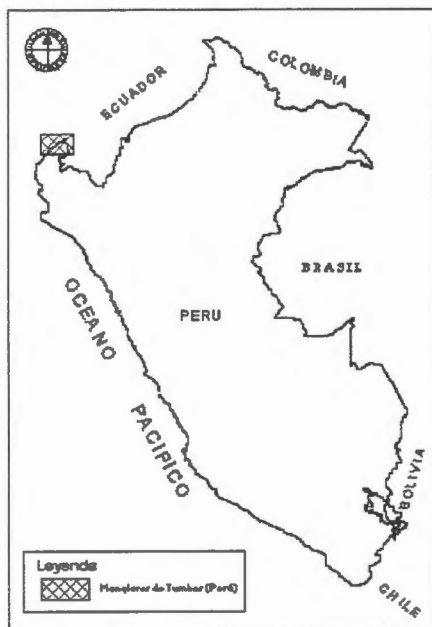


Figura 1. Ubicación del área de estudio

### Metodología

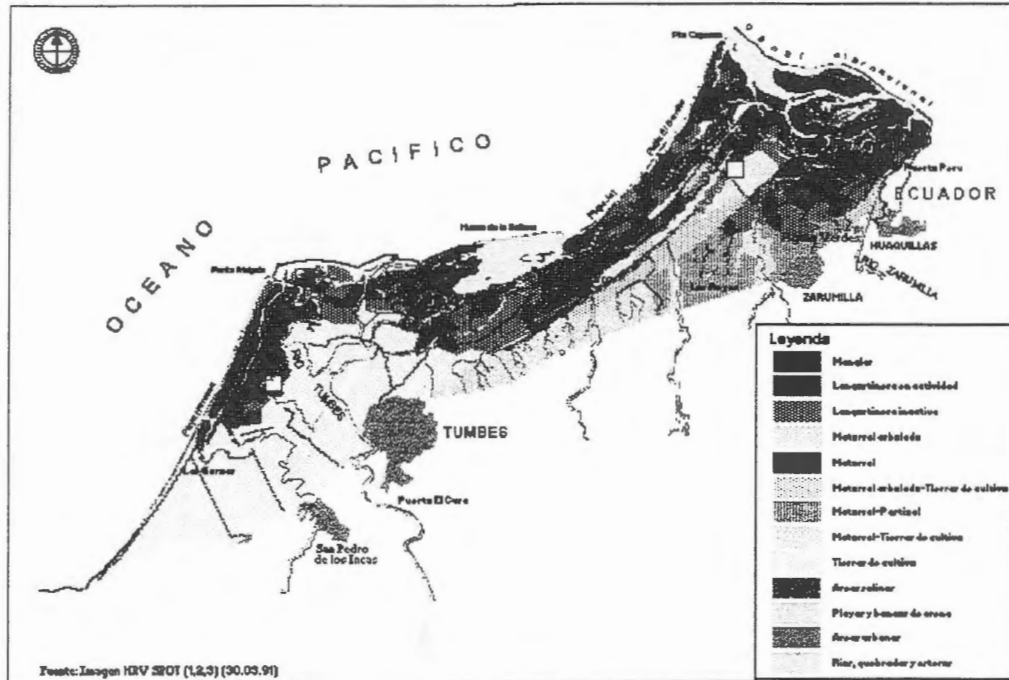
Para realizar este estudio se contó con una imagen RADARSAT ascendente de haz estandar modo 6 (ángulo 41° - 46°) tomada el 28 de junio de 1997. Esta imagen fue tratada digitalmente con ayuda del software RADARSOFT ver 6.1.

Antes de tratar la imagen, se procedió a recopilar información del área. Un estudio que sirvió de base para el presente trabajo fue el realizado por Huerta (1997) en el que desarrolla un SIG para la zona. A partir de éste se definió nuestra área de trabajo que fue cubierta por una sub-escena de 3 700 píxeles por 2 000 líneas.

Luego se procedió a reducir esta sub-escena de 16 a 8 bits y así continuar con el filtrado de ella. Se probaron diversos filtros, entre ellos: FKuan (3x3), FKuan (5x5), FKuan (7x7), FeLee (7x7), FGamma (7x7), FeFrost (5x5), FeFrost (7x7). Las imágenes resultantes fueron comparadas visualmente para seleccionar la mejor. A la imagen filtrada seleccionada se le aplicó el análisis textural.

Para mejorar la diferenciación entre los detalles en la imagen luego del análisis textural, se procedió a realizarla de varias maneras: elongación de contrastes, por histograma, realce no lineal, por ejemplo.

La interpretación visual de la imagen fue hecha en la imagen realzada para identificar las diferentes clases de uso y de cobertura de la tierra, para ello se usaron como punto de referencia trabajos de campo realizados por el Lab. de Teledetección Aplicada y SIG de la UNALM en julio de 1996, así como el Mapa de Uso de la Tierra realizado por la ONERN en 1992 para esta región (Fig. 2).



**Figura 2. Mapa del uso de la tierra en el ecosistema del manglar de Tumbes-Perú. 1992**

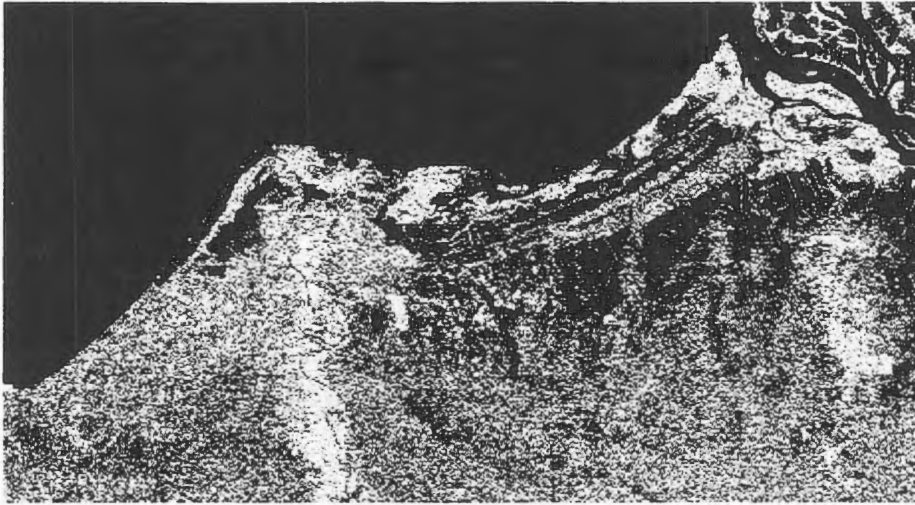
El trazado de los vectores para la estratificación fue realizado con la ayuda del software Map Maker ver 2.0, mientras que las impresiones fueron hechas tanto con el software mencionado como con ILWIS ver 2.1.

### Resultados y Discusión

De las imágenes filtradas, se eligió aquella tratada con el filtro FeFrost (7x7), que arrojó los mejores resultados. A esta imagen se le aplicó el análisis textural, siendo la opción de homogeneidad con la que se obtuvo los mejores resultados.

Cabe mencionar que al estar presentes diferentes coberturas con características diferentes, permite que el resultado del análisis textural sea prácticamente una clasificación, lo que facilita la interpretación visual. Ello se mejora con el realce no lineal que fue el que mejor resultados mostró. En la Figura 3 se muestra la imagen resultante de todo el proceso y que fue posteriormente interpretada.





**Figura 3. Imagen RADARSAT de la zona de estudio**

De la interpretación visual se obtuvieron las siguientes clases de uso de la tierra:

*Manglar:* compuesta por especies de mangle distribuidos densamente. Alcanzan alturas que varían entre 3 y 15 metros aproximadamente. La gran rugosidad del dosel superior es reflejada en la imagen como una textura gruesa y de gran brillantez. Son fáciles de reconocer porque están situadas al borde del litoral y por detrás de éste se encuentran los antiguos cordones de litoral.

*Matorral:* esta clase está compuesta por vegetación arbustiva y herbácea de densidad baja. En la imagen se reconoce por presentar una textura menos rugosa que la del manglar, pero muy similar a éste. Se ubica por detrás del manglar.

*Matorral arbolado:* compuesto por vegetación arbustiva con presencia de vegetación arbórea semidensa. Presenta una textura media, por lo cual en la imagen se los reconoce por presentar un tono semioscuro.

*Matorral - Pastizal:* mezcla de pastizales con matorrales. Se los encuentra en la parte sureste del área de estudio. Presentan una textura fina, entonces se los observa en tonos oscuros, pero más claros que los de las langostineras activas.

*Matorral - Tierras de cultivo:* mixtura de las clases matorral y tierras de cultivo. Se los encuentra hacia el centro-sur del área. Presentan una textura mixta (gruesa, en la parte que corresponde al matorral arbolado y fina, en la parte que corresponde a las tierras de cultivo). Se los aprecia en la imagen como unidades mixtas, donde fácilmente se pueden diferenciar las parcelas agrícolas.

*Matorral arbolado - Tierras de cultivo:* al igual que la clase anterior, esta clase está compuesta por un mosaico de las clases matorral arbolado y tierras de cultivo. Se los encuentra entre el matorral-pastizal y langostineras activas, en la parte central del área de estudio. Su textura es ligeramente fina, por lo cual se los observa con tonos claros, pero más oscuros que las tierras de cultivo.

*Tierras de cultivo:* áreas destinadas al desarrollo de la actividad agrícola. Se ubican principalmente en la parte oeste del área. Presentan una textura gruesa, motivo por el cual son apreciadas en la imagen en tonos claros. Esta clase se confunde con la carretera, dificultando su delimitación.

*Áreas salinas:* son áreas cubiertas por afloramientos de sales y donde no se encuentra ningún tipo de vegetación. Se encuentran entre el manglar y en algunas langostineras abandonadas. Su textura es

muy fina, por lo tanto pueden apreciarse en un tono oscuro, pero más claro que el de los cuerpos de agua.

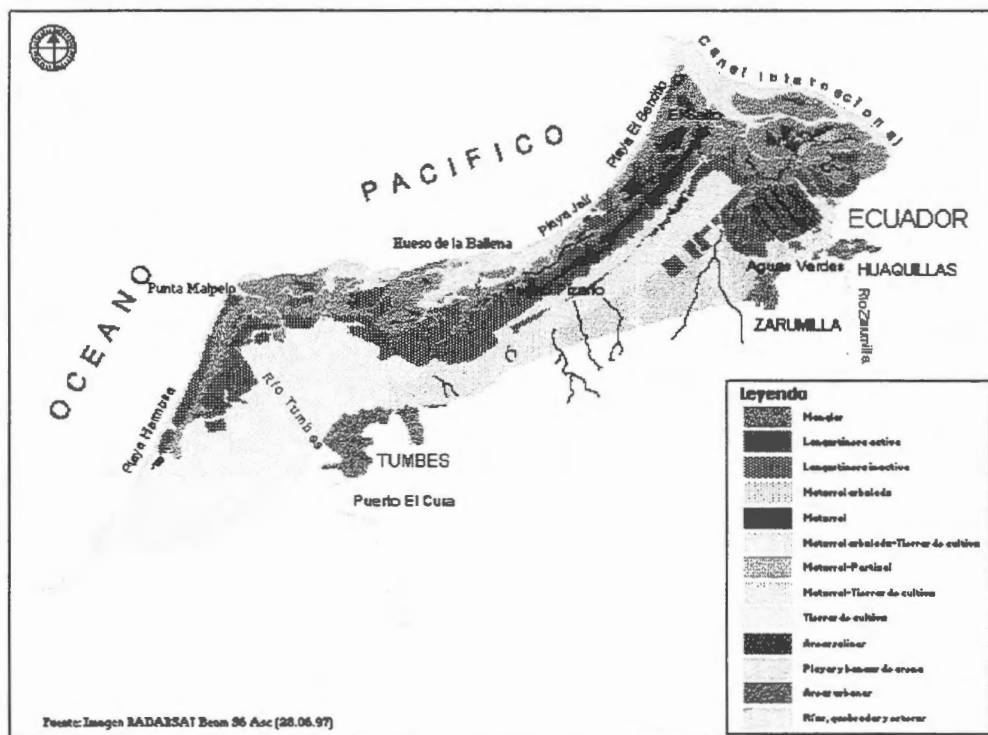
*Zonas urbanas:* por la rugosidad que presentan los centros urbanos, se aprecian con mucha brillantez, pero que por encontrarse próximas a zonas de agricultura, se confunden mucho con éstas, dificultando su identificación.

*Langostineras activas:* distribuidas por casi toda el área de trabajo. Pueden ser diferenciadas fácilmente por presentar una forma geométrica rectangular y de tono muy oscuro, debido al agua presente en su interior.

*Langostineras inactivas:* son pozas que están sin uso por lo que contienen agua, se diferencian de las activas en que al no tener agua, su textura es más gruesa, se aprecian de un tono más claro. Las más antiguas pueden presentar cierto desarrollo de vegetación. Por la textura que presentan pueden confundirse fácilmente con vegetación de matorral.

*Cuerpos de agua:* se ubican principalmente en la parte superior de la imagen (océano) y los ríos, quebradas y esteros, distribuidas en toda la imagen. Su textura es muy fina y se aprecian en la imagen en tonos muy oscuros. En algunos casos por ser estos cursos de agua muy estrechos en algunas partes de su recorrido, tienden a confundirse con la cobertura próxima a ella.

En la Figura 4 se muestra el Mapa de Uso de la Tierra que resultado de la interpretación realizada



**Figura 4. Mapa del uso de la tierra en el ecosistema del manglar de Tumbes-Perú, 1997**

Los resultados de esta interpretación serán incorporados al SIG - Manglares que mantiene el Lab. de Teledetección Aplicada y SIG de la Fac. de Ciencias Forestales de la UNALM.

Como ya se mencionó, varios detalles son difícilmente detectados en la imagen RADARSAT utilizada como por ejemplo, cursos de agua muy estrechos o parte de centros poblados no se pueden apreciar, pues se confunden con un tipo de agricultura.

De igual manera, la carretera Panamericana no es fácil de detectar en algunos tramos pues la vegetación vecina a ella sobretodo la agricultura, se confunde con la carretera.

Por otro lado, no se ha podido diferenciar los diferentes cultivos que se desarrollan en la zona, como arroz y plátanos, pues se confunden con los matorrales de diversa composición y densidad.

Si comparamos lo encontrado el año 1997 en la imagen RADARSAT con el Mapa de Uso de la Tierra del año 1992, podemos decir que en algunas zonas (al este de la zona de estudio) la superficie de manglares ha aumentado ligeramente en detrimento de algunas pozas langostineras abandonadas, mientras que por el contrario, hacia el nor este, los manglares disminuyeron ligeramente por la apertura de algunas pozas langostineras.

De igual manera se puede observar que algunas pozas langostineras se han activado en estos años (hacia el este de la zona de estudio) mientras que otras han sido puestas en inactividad, en la parte centro oeste del área.

Asimismo se observa que los pastizales combinados con matorrales han crecido en detrimento de los matorrales con agricultura en el centro del área de estudio. No se tiene mayor información si ha habido un cambio de uso de la tierra o se han "aperturado" extensiones de matorrales para la actividad pecuaria.

Un fenómeno a monitorear ocurre el Puerto Pizarro, el principal puerto pesquero y balneario de la zona, y en el cual se quiere dar impulso a la actividad turística. Puerto Pizarro es una bahía protegida por el "banco de arena" llamado "Hueso de Ballena". En la imagen interpretada, hay indicios que por la dinámica propia del ecosistema del manglar, estos "bancos de arena" estén creciendo y "cercando" a Puerto Pizarro, pero que el oleaje y la marea se encargan de romper. Sería interesante monitorear este evento para estudiar el posible crecimiento del manglar.

### **Conclusiones y Recomendaciones**

La imagen RADARSAT utilizada ha permitido determinar la cobertura y el uso de la tierra de los manglares del norte del Perú y además, actualizar la información sobre el particular que se tenía en la zona.

Sería de mucha utilidad el poder integrar imágenes radar con imágenes ópticas para mejorar la calidad de la interpretación de la imagen. De igual manera, el contar con una imagen RADARSAT en modo fino ayudaría mucho a discernir las clases de uso de la tierra.

## **Bibliografía**

- CCT.s/f. Tratamiento de imágenes RADAR y extracción de información. Manual de trabajo. GLOBESAR 2. Natural Resources Canada. Ottawa, Canada. s/p.
- CDC-UNALM. 1986. Estrategia de conservación para los manglares en la costa norte del Perú. Lima. 103 p.
- CDC-UNALM. 1992. Estado de conservación de la diversidad natural de la región Noroeste del Perú. UNALM. Lima. 211 p.
- CLÜSENER, M. 1987. Estudios ecológicos sobre la distribución de los manglares en la costa norte del Perú. Boletín de Lima, N°49. Enero 1987. 43-52 p.
- CUYA, O. n.p. Desarrollo de criterios para la clasificación de los ecosistemas del ámbito del manglar de Tumbes mediante interpretación visual de imágenes MSS Landsat y HRV Spot. Tesis no publicada. Universidad Nacional Agraria La Molina. s/n.
- HASYIN, B.; DEWANTI, R.; MAULANA, T.; SASITIMARIH, A.; FARAHIDY, I. 1997. Inventory of Mangrove by Using Radarsat Imageries. ADRO-630 Project. *in* Simposio Internacional La Geomática en la era de RADARSAT. Mayo 1997. Ottawa, Canada. 8 pp.
- HUERTA, P. 1997. Establecimiento de un sistema de información geográfica como base para el ordenamiento territorial del manglar de Tumbes y su zona de influencia. Tesis para optar el Título de ingeniero forestal. UNALM. Perú. 163 p. + anexos.
- ONERN-ODC-FPCN. 1992. Monitoreo de los cambios de cobertura y uso de la tierra en el ecosistema del manglar de Tumbes. Lima. 93 p.
- SINGHROY, V. 1996. Interpretation of SAR images for coastal zone mapping in Guyana. *Canadian Journal of Remote Sensing*. Vol. 22, No.3, Setiembre 1996. pp 317- 328.

# REMOTE SENSING TECHNOLOGIES APPLIED TO THE STUDY OF THE LAND USE AND LAND COVER IN THE IRRIGATED REGIONAS OF THE CULTIVATED VALLEYS IN THE CENTRAL WESTERN REGION OF ARGENTINA. MONITORING OF THE SOIL DEGRADATION PROCESSES – SALINITY AND HYDRIC EROSION

Graciela Salinas de Salmuni \*  
Guillermo Ibañez \*\*

\* University of San Juan.

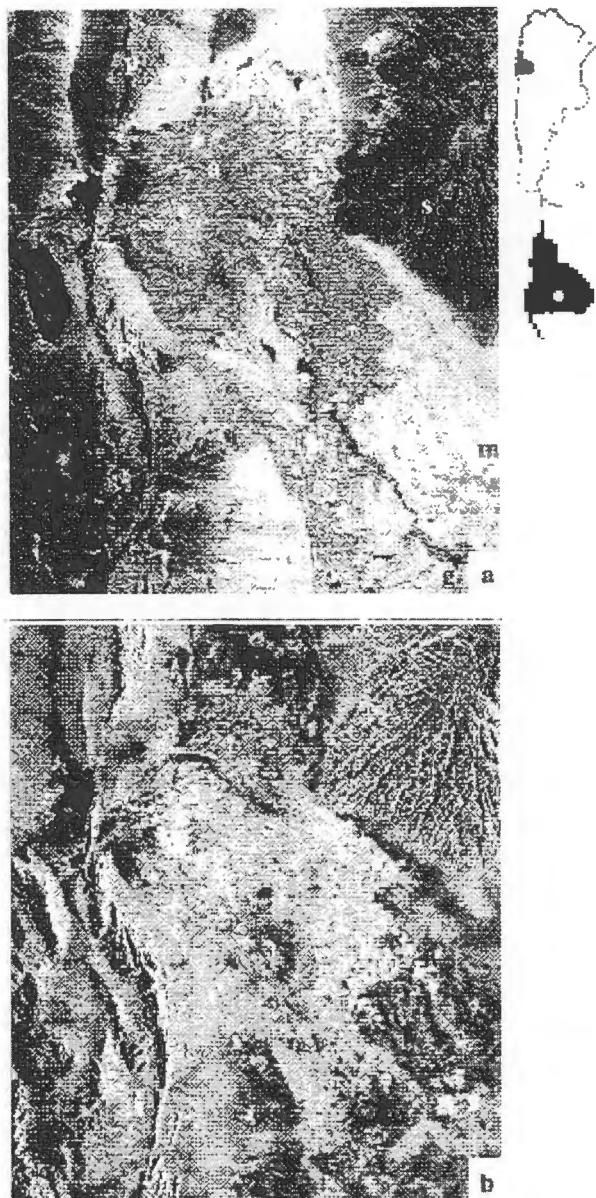
\*\* CONAE (Spatial National Commission).

This study is part of the research project "Land use and land cover of the irrigated zones cultivated in the provinces of San Juan and Mendoza in Argentina" included in the GlobeSAR2 Program.

## *The application area*

The project considers the application of high resolution satellite images in Tulum Valley with "dry climate" characteristics such as a very low annual rainfall (93mm), a high helifany and a very important hydric deficit. Regarding the soils, they have a poor development of the edafogenic horizons. The phytogeographic province of the Mountain includes all the zone under study (Cabrera, 1976) which is generally characterized by shrub steppes where **xerophite and halophite** species prevail. Small forest areas and marshy environments associated with local conditions are also found.

The main crop is grapevine and the annual crops are tomatoes, garlcs and onions, which represent a smaller proportion, but are important as well. Processes of desertification, such as salinity and hydric erosion, are observed in this area. These processes affect the vast zones located in the dryland diagonal of South America..



**Figure 1.** shows the area under study. In a) The Landsat TM image, combination 4,5,3. In b) The RADARSAT image, standard mode. Both images were taken in summer.

**The importance of this project** is the development of new technologies tending to satisfy continuous demands and applications of the satellite data , in a short, medium and long term, for the study, management and sustainable development of the renewable natural resources of the region; the articulation of the regional available technological infrastructure so the products derived from the digital images processing are transferred to the final users and, the widening of the fields of application and the seeking for potential users who could be benefited from the use of these technologies. The test site presents vast zones with generally flat topographic conditions which make the natural soil drainage difficult. This situation together with the use of poor quality irrigation water, losses in the infiltration channels and lack of efficient drainage collectors, have contributed to the salinity of important areas caused by the phreatic waters with high saline content nearby the surface. As a consequence, the production in these sectors decreased, causing an important degradation in the Valley. The production of the agricultural zones is affected by visible salinity areas when these are next to the crops so the yield of the most sensitive ones diminishes. According to the Statistics from the Censuses of the Agriculture and Cattle-Raising Department of the Province of San Juan, approximately 40% of the total land in the Tulum Valley is affected by "revenición" (very high phreatic level) and salinity .

***The objectives of the project are:***

- The development of a methodology which allows the incorporation of SAR images to crop discrimination using a multitemporal study (images for the phenological cycle of the main crops) and a multisensor one, which uses optical images (Landsat and Spot) to discriminate crop types and conditions.
- The characteristics of the regions where agriculture constitutes the main economic resource. It is increasingly necessary to develop and efficiently handle the soil resources, water and the cultivation areas.
- Computing the agricultural statistics is a very important activity in the process of planning and programming the soil use.
- The data provided by the remote sensors allows the planners to analyze the conditions of the soil and vegetable coverage, and also to define and follow the changes produced in the cultivated areas.
- This project is part of a Program that has been developed at the Center of Photogrammetry, Cartography and Cadaster of the School of Engineering , by initiative of the Economic Federation of San Juan and the Ministry of Production of San Juan Province.
- The important cooperation activities originated from this proposal through an agreement between CONAE , the University of San Juan, and INTA.

***The Images used in the project are***

- 1) Beam S4 ( $\theta = 34^\circ - 40^\circ$ ) Resolution = 26m (Rg) x 27m (Az), Descending Pass (right looking) with date: 97-JAN-21.
- 2) Beam Fine3 ( $\theta = 41^\circ - 44^\circ$ ) Resolution = 8.4 m (Rg) x 8.4 m (Az), Descending Pass (right looking) with date: 97-JAN-28.
- 3) Beam S3 ( $\theta = 30^\circ - 37^\circ$ ) Resolution = 28m (Rg) x 27m (Az), Ascending Pass (right looking) with date: 97-JAN-29.
- 4) Beam Fine3 ( $\theta = 41^\circ - 44^\circ$ ) Resolution = 8.4 m (Rg) x 8.4 m (Az), Descending Pass (right looking) with date: 97-AUG-



Landsat TM images with the center located in 31° 45' W and 68° 48' S, acquired November of 1992, There is an abundance of thematic information in digital support that constitutes the digital Socioeconomic Atlas of the Province of San Juan, including those which we mention: soil, hydrologic and topographic maps. The work was done with a System of Images Processing PCI, 6.1 and ERDAS - IMAGINE 8.2

To comply with the established objectives the following stages should be fulfilled:

- Ancillary data collection: (geology, geomorphology, hydrogeology, edafology, vegetal coverage and land use).
- Image Preprocessing.
- Image Processing :
- Visual Interpretation, radar imagery interpretation at regional level at 1:150.000 scale.
- Geocoding of RADARSAT and LandSat TM images
- Combination of RADARSAT and LandSat TM images.
- Classification processes
- Working with vectors
- Working with attribute data (linking attribute to image data)
- Adjustment of thematic maps with the data of the SAR images
- Field work in a well known test site during the agricultural cycle with the presence of irrigated and non irrigated cultivation.
- After the analysis of the results during a complete hydrological or agricultural cycle the final evaluation of SAR images and their contribution to the analysis of the salinity process will be made.

#### ***The results obtained from de processing are described in:***

The aerial photo and both Fine Mode Images dated January and August 1997, as well as the photos of crops at the same date than the images: From the visual analysis it can be seen that the August image exhibits more backscattering due to higher roughness of grapevine crops (arbor type conducted ) and onion and garlic crop which have their phenological cycle in winter (this is August).

The supervised classification of fine mode image, dated August 1997. It can be seen that urban zones can be well discriminated as well as parcels with soil prepared for future cultivation. Regarding grapevine and olive crops, they can be well discriminated but there is a slight confusion between these and natural vegetation.

The multitemporal study of the test site, it can seen that the whole area generally has higher backscattering in August (red) due to the presence of winter crops added to a higher roughness caused by the conducting sticks of grapevine crops. Olives crops parcels are shown in pale-red and pink colours (they remain very alike during winter and summer). The blue colored parcels correspond to abandoned grapevine crops which exhibits high backscattering in summer, without vegetal coverage in summer. Also, the irrigated parcels, are shown in blue.

#### ***Conclusions***

It was observed that SAR images allow the detection of grapevine crops using the driving system consisting in "cuyano type" vine arbor of 1,90 m high and separated at a distance of 0.90 m each row. The test sites of the main crops of the area in the three scenes were observed. It can be seen that **fine mode and descending pass radar image** can discriminate more clearly than the others.

The multitemporal studies have shown to be not enough for crop discrimination. Therefore, as a previous stage, it would be helpful to interrelate RADARSAT images with Landsat TM images.

***Future Development***

Optimization of classification methodology using greater number of test samples and performing sequential masking classifications using all available images.

The next step will consist in the incorporation of two new LandSat images obtained in the same date with the of RADARSAT images.

## **PROYECTO USO DE RADARSAT PARA LA GESTION DE LOS RECURSOS NATURALES: GLOBE SAR-2 PANAMA**

Xenia Rios De Castillo  
Coordinadore GlobeSar 2 Panama  
Ministerio de Comercio e Industrias

### **INTRODUCCION:**

En marzo de 1995 se celebró una reunión técnica para organizar un programa de cooperación técnica y financiera del Centro de Investigación para el desarrollo Internacional de Canadá (IDRC) y el Centro Canadaniense de Sensores Remotos (CCRS) con países centroamericanos (Costa Rica, Honduras, Nicaragua y Panamá).

El propósito de este programa es que los países centroamericanos desarrollen en colaboración CCRS capacidad de investigación y destreza en el uso y aplicación de imágenes de radar tomadas por Satélite en Panamá a través de la transferencia de tecnología y la investigación aplicada en las diversas esferas de evaluación y monitoreo de los recursos naturales.

Finalmente en diciembre de 1996 el IDRC y el Gobierno Panameño acordaron poner en marcha el proyecto firmando un convenio de donación en donde el gobierno canadiense se compromete en donar CAD 23,000, Hardware, Software y entrenamiento y a su vez el gobierno panameño se compromete en administrar estos fondos de acuerdo al presupuesto acordado por ambas partes. Este convenio tiene una duración de veinticuatro meses a partir del mes de febrero de 1997.

El Ministerio de Comercio e Industrias es el coordinador administrativo y Técnico del Proyecto que está conformado por las Instituciones Gubernamentales que pertenecen al Comité Técnico Consultivo del Sistema de Información Geográfico S.I.G.

Las instituciones participantes aspiran a obtener óptimos resultados incorporando la técnica de percepción remota por radar y los datos adquiridos por Radarast para investigaciones multidisciplnarias.

## **ACTIVIDADES DESARROLLADAS DURANTE EL PRIMER AÑO DEL PROYECTO (1997).**

### **Preparación de Proyectos de Investigación:**

Se coordinó con las distintas instituciones estatales miembros del Comité Técnico del Sistema de Información Geográfico con el fin de que cada institución elaborara un perfil de Proyecto en sus respectivas áreas de estudio para ser realizados por medio de la técnica de imágenes de Radar tomadas por Satélite. Los perfiles de proyectos preparados por las instituciones participantes son los siguientes:

#### **1- CONTRALORIA**

Automatización de la Cartografía Proyecto "916". Darién.

#### **2- MICI**

El Valle de Anton. Evaluación de depósitos de Arena Continental. Coclé

#### **3- INSTITUTO GEOGRAFICO TOMMY GUARDIA**

Azuero - Uso y Cobertura de la Tierra.

#### **4- MIVI**

Análisis Físico Geográfico de diferentes sectores de la región metropolitana.

#### **5- INRENARE**

Uso de imágenes de radar en la cobertura boscosa de Panamá.

#### **6- INSTITUTO DE GEOCIENCIAS, UNIVERSIDAD DE PANAMA**

Imagen Chiriquí y Bocas del Toro. Principales rasgos geológicos especialmente fallas en la región occidental de Panamá.

#### **7- UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE PANAMA**

Desastres Naturales y Monitoreo de Volcanes. Imagen LARSAT.

#### **8- UNIVERSIDAD DE PANAMA**

##### **INSTITUTO DE CIENCIAS AMBIENTALES Y BIODIVERSIDAD**

Estudio Geológico y Geomofológico de la Cuenca baja del Río Bayano.

#### **9 - MINISTERIO DE HACIENDA Y TESORO.**

Inventario de Parcelas en Darién y Herrera.

#### **10- MIDA**

Uso de la Tierra para fines Agrícolas. Chiriquí - Azuero.

## **ENTRENAMIENTOS:**

Se realizaron dos Seminarios Taller con la participación de las Instituciones Investigadoras y dictado por expertos del Centro Canadiense de Sensores Remotos.

El Primer Seminario Taller fue realizado del 12 al 14 de mayo de 1997 con el Tema Introducción a las aplicaciones de Radarsat y conceptos básicos de teledetección por radar.

El Segundo Seminario Taller fue realizado del 19 al 22 de enero de 1998 con el tema tratamiento de imágenes. Radar y extracción de información.

Consideramos que estos Seminarios fueron de vital importancia para introducirnos en el uso y aplicación de las técnicas de teledetección por radar pero sería beneficioso hacer un tercer Seminario en el transcurso del 98 para darle seguimiento a los proyectos de cada Institución.

## **ACTIVIDADES A DESARROLLAR EN EL SEGUNDO AÑO DEL PROYECTO**

En el segundo año del Proyecto cada institución participante una vez recibido el Soft Ware PCI podrá poner en práctica los conocimientos adquiridos en los dos seminarios taller que se realizaron en 1997. Para 1998 se planea preparar un tercer Seminario Taller más avanzado para resolver la inquietudes que tengan los investigadores en sus respectivos Proyectos de investigación. Contando con el asesoramiento de los expertos CCRS cada investigador podrá entregar al final del Proyecto un informe técnico detallando el trabajo realizado, e incluyendo los resultados de la investigación.

Esperamos que nuestra participación en el SIMPOSIO GLOBE SAR2. "Las aplicaciones de Radarsat en América Latina" nos dará la oportunidad de observar la metodología usada y los resultados obtenidos por los investigadores de otros países que van más avanzados en sus respectivos Proyectos GLOBE SAR2.

# APLICACION DE IMAGENES RADARSAT EN ESTUDIOS DE PROCESOS OCEANICOS Y DISTRIBUCION DE RECURSOS PELAGICOS

M.A.Barbieri<sup>1,2</sup>, C.Silva<sup>2</sup>, M.Farías<sup>3</sup>, K.Nieto<sup>2</sup> y E. Yáñez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Fomento Pesquero, Huito 374, Valparaíso, Chile.

Tel: 56-32-212630 Fax: 56-32-213178 E-mail: mabarbie@ifop.cl

<sup>2</sup> Universidad Católica de Valparaíso, Casilla 1020, Valparaíso, Chile.

Tel: 56-32-274257 Fax: 56-32-274208 E-mail: eyanez@aix1.ucv.cl

<sup>3</sup> Pontificia Universidad Católica, Vicuña Mackena 4860, Santiago, Chile

Tel: 56-2-5532900 Fax: 56-2-6864137 E-mail: unoaa@sas.puc.cl

## RESUMEN

Imágenes RADARSAT ScanSar Narrow de la zona central de Chile son procesadas para evaluar su utilidad en estudios espacio-temporales de procesos oceánicos superficiales tales como surgencia, frentes de corriente, remolinos, filamentos y su eventual asociación con la distribución de los recursos pelágicos. En este trabajo se describen los resultados de una serie de algoritmos aplicados a las imágenes radar para realzar las características oceánicas de la zona y son comparadas con imágenes de temperatura superficial del mar (TSM) y datos de velocidad y dirección del viento.

Las imágenes TSM y RADARSAT procesadas muestran características oceanográficas como áreas de surgencia, giros ciclónicos y anticiclónicos, estos procesos oceánicos están asociados con períodos de vientos Sur intensos.

## 1. INTRODUCCION

En Chile desde mediados de la década de los años ochenta se introdujo el uso de las imágenes satelitales NOAA-AVHRR, para estudiar la estructura térmica superficial del mar, asociarlas a la distribución de los recursos pelágicos y para determinar zonas probables de pesca de recursos pelágicos preferentemente en la zona norte y central del país.

El presente trabajo tiene como objetivos: (1) Investigar la utilidad de imágenes RADARSAT en estudios espacio-temporales de procesos oceánicos superficiales, tales como surgencia, frentes de corriente, remolinos, filamentos y su eventual asociación con la distribución de los recursos pelágicos. (2) Desarrollar una metodología de integración y complementación obtenidas de imágenes RADARSAT con otras fuentes, tales como mediciones *in situ* e imágenes de temperatura superficial del mar (TSM). (3) Explorar el uso de las imágenes de RADARSAT en la investigación de zonas probables de pesca de peces pelágicos.

El área de estudio se ubica en la zona central de Chile, entre los paralelos 33° y 36° de latitud sur y los meridianos 71° y 75° de longitud oeste. El período de estudio es marzo y agosto de 1997, las fechas de las imágenes RADARSAT corresponden al 23 y 30 de marzo de 1997 y 11 agosto de 1997.

En el trabajo se describe la dirección e intensidad de los vientos registrados en dos estaciones meteorológicas ubicadas en la zona de estudio: el faro punta Panul (33°24.4'S-71°22.2'W) y el faro Carranza (35°19.8'S-72°21.6'W). A continuación se describen los procesos oceánicos observados en las imágenes TSM y se posiciona la zona de pesca del recurso jurel (*Thrachurus murphyi*). Posteriormente se describe el procesamiento de las imágenes RADARSAT y se identifican procesos oceánicos superficiales y finalmente se asocian los procesos observados en las imágenes RADARSAT y las TSM con las capturas de jurel.



## 2. ANTECEDENTES

### Procesos oceanográficos costeros en Chile central

Chile está afectado por el Sistema de corrientes de Chile-Perú o corriente de Humboldt, que tiene un ancho promedio de 2000 km y es lento ( $< 5 \text{ cm seg}^{-2}$ ). Este está compuesto por un conjunto de corrientes y contracorrientes, superficiales y profundas que cambian de posición estacionalmente. El Sistema Chile-Perú presenta una alta heterogeneidad espacial, y despliega una compleja estructura de mesoescala, es posible distinguir en ellos una serie de cuerpos semidiscretos de agua con dimensiones entre 10 y 500 km y con propiedades identificables, estos son dinámicamente inestables y existe un campo de densidad asociado a las corrientes.

En la Tabla 1 se muestran las masas de agua que se presentan entre la costa y  $75^\circ \text{ W}$  y latitud  $28^\circ$  a  $39^\circ \text{ S}$  según Robles *et al.* (1980).

Tabla 1. Masas de agua (Robles *et al.*, 1980)

Masas de agua	Sigma-t	Profundidad (m)	Temperatura ( $^\circ\text{C}$ )	Salinidad (‰)	Oxígeno (ml/l)
Subtropical*	24.70 - 25.7	10-17	13.5-17.5	33.9-34.2	5.3-6.0
Subantártica	25.70 -26.70	20-50	11.5-13.5	34.1-34.2	4.0-5.7
Ecuatorial	26.80- 26.90	300-340	8.5	34.5-34.6	0.8-1.3
Subsuperficial					
Antártica	27.10 -27.20	560-600	5.5	34.3-34.4	3.8-4.1
Intermediaria					

\*no señalada por el autor

Los principales procesos oceánicos que se producen en la zona de estudio son 1) surgencia costera, son eventos discretos de una duración de 5 a 10 ó 12 días, se producen al acoplarse los vientos con la superficie del mar por fricción, se mueve la superficie del mar transmitiéndole el momento. La capa superficial se desplaza hacia el oeste, el desplazamiento genera divergencia adyacente a la costa que permite ascender hacia la superficie a aguas subsuperficiales. 2) Frente de surgencia costera, se forman en el límite de las aguas oceánicas y las costeras. Las aguas surgentes son más densas y están ubicadas entre la costa y el borde interior del frente, en el borde exterior del frente las aguas son menos densas. Las aguas recién afloradas sufren una rápida transformación, que les permite cruzar el frente sin hundirse, o bien se produce un hundimiento convectivo en el borde del frente. 3) Remolinos en áreas de surgencia son estructuras aproximadamente circulares, que pueden ubicarse en el frente de surgencia principal o a un lado de este. Los remolinos pequeños transportan y conservan la materia, su principal efecto es la atenuación de fenómenos de mayor escala. 4) Filamentos son protuberancias angosta de aguas frías (de menos de 50 km de ancho) que se proyectan desde el frente de surgencia principal hacia la región oceánica y se extiende a más de 50 km. 5) Torbellinos de la plataforma, que se forman en la depresión topográfica genera torbellino anticiclónico, que bombea agua del fondo hacia la superficie, mientras que los que se forman en la elevación topográfica produce un torbellino ciclónico con hundimiento de agua hacia su centro. 6) Turbulencia inducida por el viento (turbulencia es la velocidad del viento al cubo) esta variable es proporcional a la energía disponible para los procesos de mezcla turbulenta en las capas superficiales del océano. Los primeros 5 procesos oceánicos antes descritos son observables en las imágenes TSM.

Según Bernal (1990) la persistencia temporal de las estructuras de mesoescala por un tiempo determinado depende de las dimensiones espaciales y de las propiedades de mezcla locales (Tabla 2).

Tabla 2. Persistencia temporal y largo característico de las estructuras Bernal (1990).

Largo característico	Persistencia temporal
10 m	15.2 min
100 m	1.8 horas
1 km	12.7 horas
10 km	3.7 días
100 km	26.5 días

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### Información meteorológica

En punta Panul, en la segunda quincena de marzo la intensidad promedio del viento era de 4.75 nudos, la máxima intensidad horaria se presentaba a las 18:00 horas GMT (14:00 horas local). En faro Carranza, para el mismo período anterior la intensidad promedio del viento era más alto que en punta Panul alcanzaba los 6.88 nudos, la más alta intensidad (con 8.69 nudos) se obtuvo a las 24:00 horas GMT (20 horas local),

En el mes de agosto entre el 7 y 19, la intensidad del viento promedio en la punta Panul era de 10.82 nudos y en el faro Carranza 11.39 nudos. En ambas estaciones la intensidad máxima del viento se produjo a las 24 horas GMT.

En los días de obtención de imágenes de RADARSAT el día 23 de marzo en punta Panul la intensidad promedio del viento era 5.5 nudos con dirección S, el 30 de marzo de 3.25 nudos (dirección N a las 12 GMT y dirección W a las 18 y 24 GMT) y el 11 de agosto fue de 0.75 nudos con dirección NW. En faro Carranza el día 23 de marzo la intensidad promedio del viento era de 8.25 con dirección S, el día 30 de marzo 7.25 con dirección N y el 11 de agosto era de 5.75 nudos con dirección S. Las imágenes RADARSAT se obtuvieron a las 10:00 horas GMT las intensidades del viento eran bajas, especialmente los días 30 de marzo y 11 de agosto.

Tabla 3. Intensidad y dirección del viento en punta Panul y faro Carranza, en las fechas en que se dispone imágenes TSM y RADARSAT

PUNTA PANUL												
Intensidad (en nudos y dirección del viento)												
Hora GMT	marzo 1997 (días)							abril (día)	agosto (días)			
	19	22	23*	24	25	28	30*		1	7	11*	19
6	2 SW	12 S	4 S	10 N		2 W	2 NW	0	10 SE	0	2 NE	
12	4 E		6 S	8 N		2 W	2 N	2 E	15 SE	0	0	
18	8 SW	12 S	8 S	8 SW	8 SW	10 W	9 W	16 S	4 SW	3 NW	8 SW	
24	2 SW	16 S	4 SW	4 SW	4 SW	5 W	W	7 S	8 N	0	8 SE	
FARO CARRANZA												
6	6 NE	9 S	6 S	18 S	5 S	10 S	2 S	5 N	6 SE	5 SW	7 NE	
12	5 E	4 N	2 S	6 S	9 S	12 S	9 N	2 E	14 SE	7 S	8 W	
18	5 S	3 W	9 S	6 S	3 S	12 S	10 N	6 S	8 S	7 S	4 W	
24	6 S	15 S	16 S	9 S	9 S	14 S	8 N	16 S	4 S	4 S	6 S	

\*días con imágenes RADARSAT.

#### Imágenes TSM

Las imágenes TSM permitieron observar que durante la segunda quincena de marzo en el área de estudio se presentaron eventos de surgencia. El 19 de marzo se presentaba un evento de surgencia sólo al sur del área de estudio, en punta Nugurne (latitud 35°57'S) a partir de ese

día se comenzaron a intensificar los vientos sur en toda el área y el 22 de marzo se observaba también una lengua surgente en punta de Topocalma (latitud 34°10'S). El 23 de marzo las aguas surgentes alcanzaban las 40 millas náuticas (mn) frente al faro Carranza (latitud 35°35'S), posteriormente se debilitaron los vientos (el 24 de marzo) las frías aguas surgentes se acercaron a la costa, pero al intensificarse nuevamente los vientos S a partir del 26 de marzo se incrementó la surgencia, entonces se expandieron nuevamente las aguas surgente hacia el oeste y se activaron varios focos de surgencia, que abarcaron latitudinalmente desde el sur de Valparaíso (33°03'S) hasta el sur del área de estudio. Hacia el final del período de estudio, en el sur área el agua surgente alcanzó 60 mn desde la costa hacia el sector oceánico, formando giros hacia el oeste y suroeste. Por otro lado, en las imágenes de los días 22, 23 y 24 de marzo entre las latitudes 35° a 36° S al oeste de la longitud 74° W se observó, durante tres días consecutivos, una estructura que tuvo la forma de un semicírculo, esta es difícil de asociar con un proceso oceánico por lo parcial de la observación (Fig. 1).

En el mes de agosto en la fecha cercana a la imagen RADARSAT se dispuso de sólo dos imágenes de TSM que presentaron un rango de temperatura entre 11-12° C a 14° C. Las aguas más frías eran costeras, estas tuvieron una distribución más amplia cuando predominaron los vientos norte (7 de agosto), y una más restringida cuando prevalecieron los vientos sur (Figs. 1g y 1h).

#### **Imágenes RADARSAT**

En el trabajo se dispuso de 3 imágenes RADARSAT ScanSar Narrow (SCN), del 23 y 30 de marzo (que corresponden al inicio del otoño en el hemisferio sur) y el 11 de agosto (en invierno). Estas imágenes presentaron una resolución nominal de 50m.

El set de datos raster se introducen, visualizan, manipulan y analizan con el software PCI. Una vez cargadas las imágenes se procede a las correcciones geométricas, para ello se recolectaron 90 puntos de control relacionando datos georreferenciados con datos no corregidos.

Para hacer más interpretables las imágenes SAR, se probaron una serie de realces, este tratamiento fue necesario especialmente en aquellas imágenes que presentaron una apariencia oscura. Se probaron los siguientes realces aplicando Look-up tablas (LUT): infrecuencia, lineal, raíz cuadrada y ecualización de histograma.

## **4. RESULTADOS**

### **Descripción y análisis imágenes RADARSAT**

En la imagen del 23 de marzo se mostró una fuerte reflexión especular cerca de la costa en la zona donde en las imágenes TSM se observó áreas de surgencia, pero que además estaban en la desembocadura de ríos de la zona central del país: río Maipo (33° 37'S), río Rapel (33° 56'S), río Maule (35°21'S) y río Itata (36°22'S) (Fig. 2). Estos ríos transportan una gran cantidad de sedimentos domésticos e industriales, además contienen desechos por la utilización de plaguicidas y las actividades agrícolas y forestales.

En los días previos al 23 de marzo en la zona norte del área de estudio la surgencia estaba en período de relajó, mientras que en el sur (punta Nugurne) estaba activa. A partir del 23 de marzo se activó la surgencia en casi toda el área considerando la zona central (punta Topocalma).

En la imagen (23 de marzo) RADARSAT:

- filtradas con average, y realzadas con equalización., linear ramp, root square e infrecuencia, se observaron las aguas surgentes, aguas con reflexión especular que podrían estar contaminadas
- un semicírculo que estaba al suroeste de la zona de estudio que también estaba presente en las imágenes TSM. A través del realce root square se ve el efecto del viento persistente que estaba presente en el área de estudio.
- Cuando se empleó el realce de infrecuencia se observó dos giros:
  1. uno ubicado en el 34°30' hasta 35° en una terraza que se forma frente a la cuesta Cardonal, al norte y al sur del lugar donde se forma el giro, la isolínea de los 1000 m de profundidad se encuentra cerca de la costa, el giro es ciclónico por lo que debería producirse un hundimiento de las aguas hacia su centro.
  2. el otro giro se produce frente a punta Nugurne al norte de la terraza del Itata, se produce en una depresión un giro sería anticiclónico, entonces bombearía agua del fondo hacia la superficie. Estos giros también fueron encontrados por Cáceres (1992).

La imagen del 30 de marzo se obtuvo cuando finalizó un período de intensos vientos Sur que había activado la surgencia en toda el área de estudio, esto se observa claramente en las imágenes de TSM. Se aplicaron los filtros average y realce root square, equalización e infrecuencia, en las imágenes se observaron las aguas surgentes (Fig. 2). Por otro lado, en la imagen:

- realzada con equalización se observó un giro frente a punta Cardonal (34°50'S).
- realzada con root square, lineal, equalización e infrecuencia se observó un giro al norte de la terraza del Itata.

Durante la obtención de la imagen RADARSAT del 11 de agosto en la zona de estudio soplaban vientos débiles, en los días anteriores habían predominado los vientos N y en los posteriores el viento S. Las imágenes realzadas con linear ramp y equalización permiten observar (Fig. 3):

1. zonas oscuras en la costa, frente a San Antonio donde se encuentra la punta Panul esto podría ser efecto del relajo del viento,
2. entre 33° 50'S hasta el 35° 30'S se forman pequeños focos oscuros con reflexión especular, que difícilmente se puede asociar con un proceso oceanográfico particular.

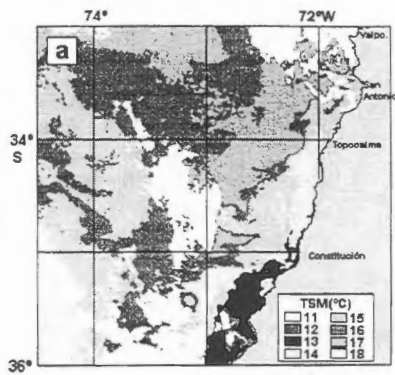
#### **Zona de pesca del jurel**

La captura del jurel fue escasa en la zona durante el período de estudio, las capturas diarias se posicionaron sobre las imágenes TSM y RADARSAT, pero la información pesquera fue insuficiente para establecer una relación entre los procesos oceánicos y los lugares donde se efectuaron las capturas.

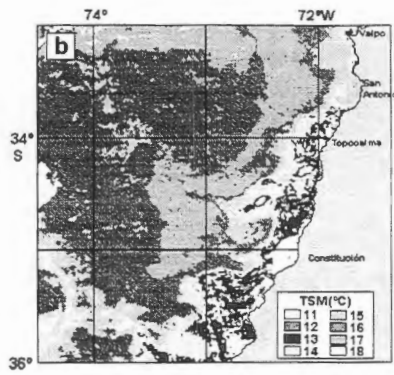
#### **BIBLIOGRAFIA**

Bernal, P. 1990. La oceanografía del sistema de corrientes de Chile-Perú en relación a las pesquerías pelágicas: Una revisión. *In*: "Perspectivas de la Actividad Pesquera en Chile", M.A. Barbieri (Ed.), Escuela de Ciencias del Mar, UCV, Valparaíso: 35-48.

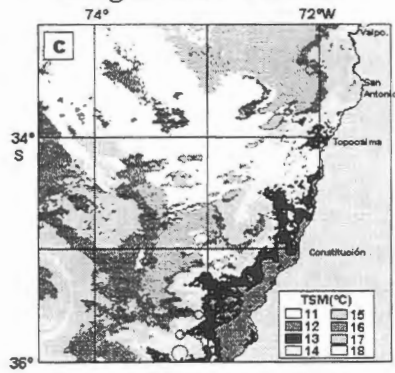
Robles F., Alarcón E. y Ulloa A. 1980. Water masses in the northern Chilean zone and their variations in the cold period (1967) and warm periods (1969, 1971-73). *In*: Proc. Of the Workshop on the Phenomenon known as El Niño, UNESCO, Paris: 83-174.



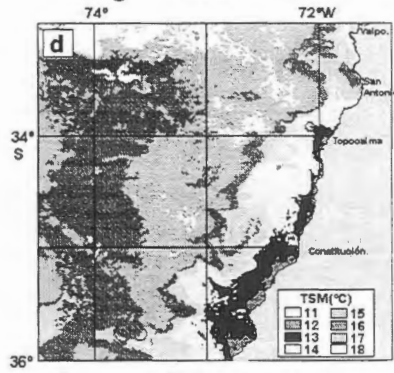
**Imagen TSM 97/03/19**



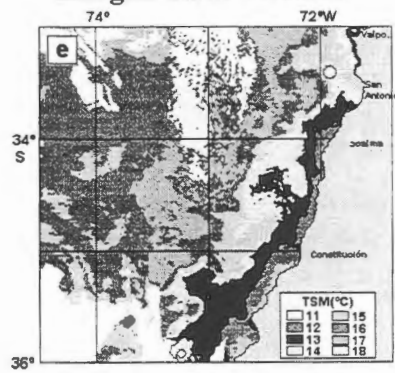
**Imagen TSM 97/03/22**



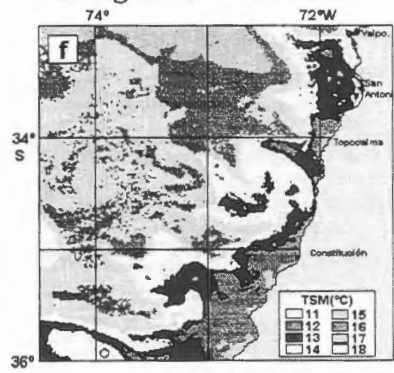
**Imagen TSM 97/03/23**



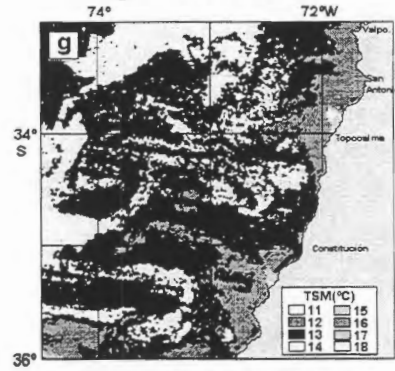
**Imagen TSM 97/03/24**



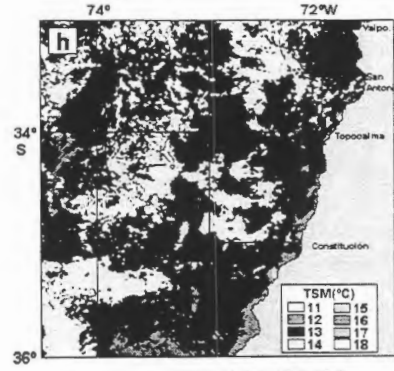
**Imagen TSM 97/03/25**



**Imagen TSM 97/04/02**



**Imagen TSM 97/08/07**



**Imagen TSM 97/08/19**

Figura 1. Imágenes de TSM de la zona y período de estudio



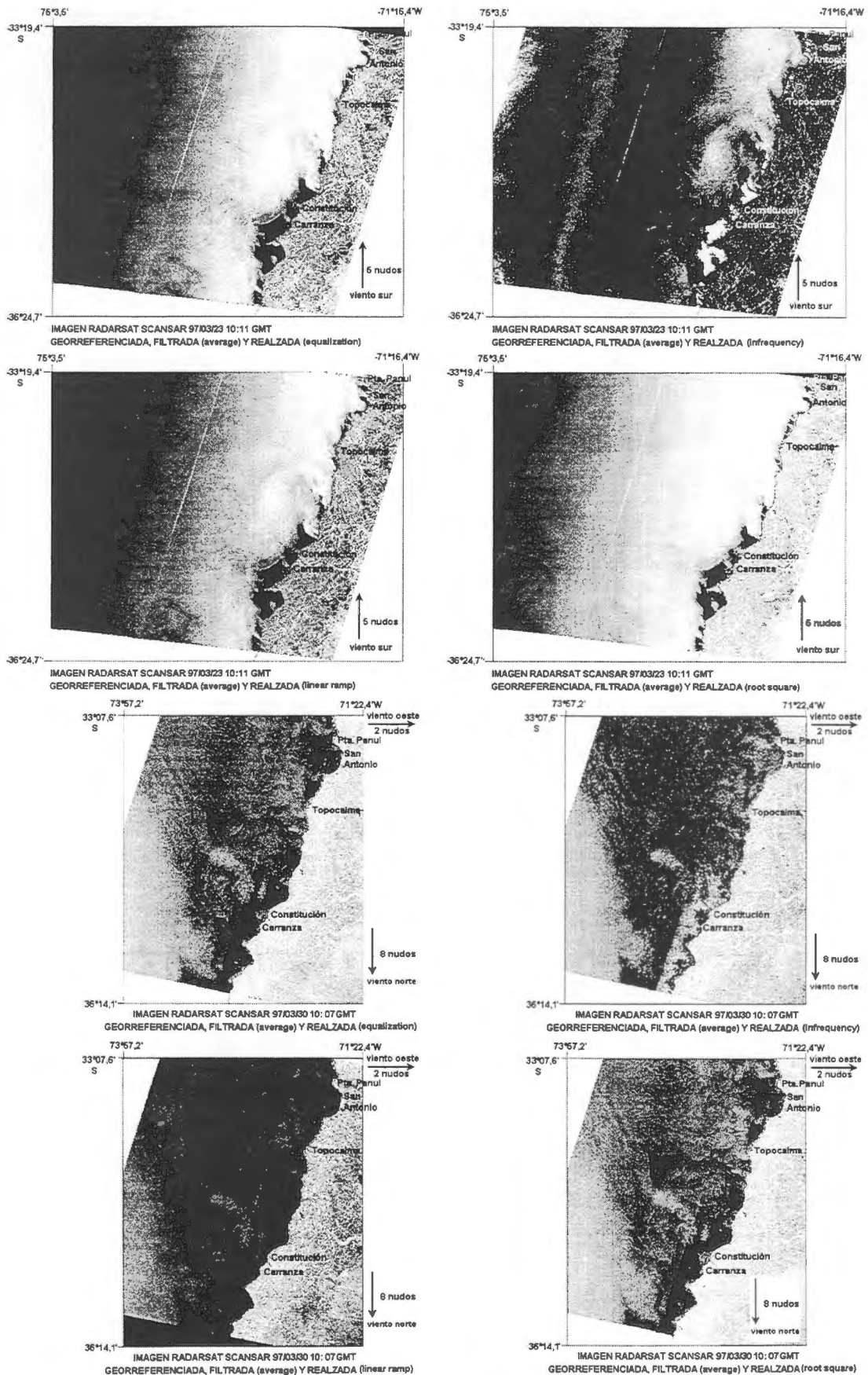


Figura 2. Imágenes RADARSAT de la zona central de Chile realizadas con equalización, infrecuencia, lineal y root square.



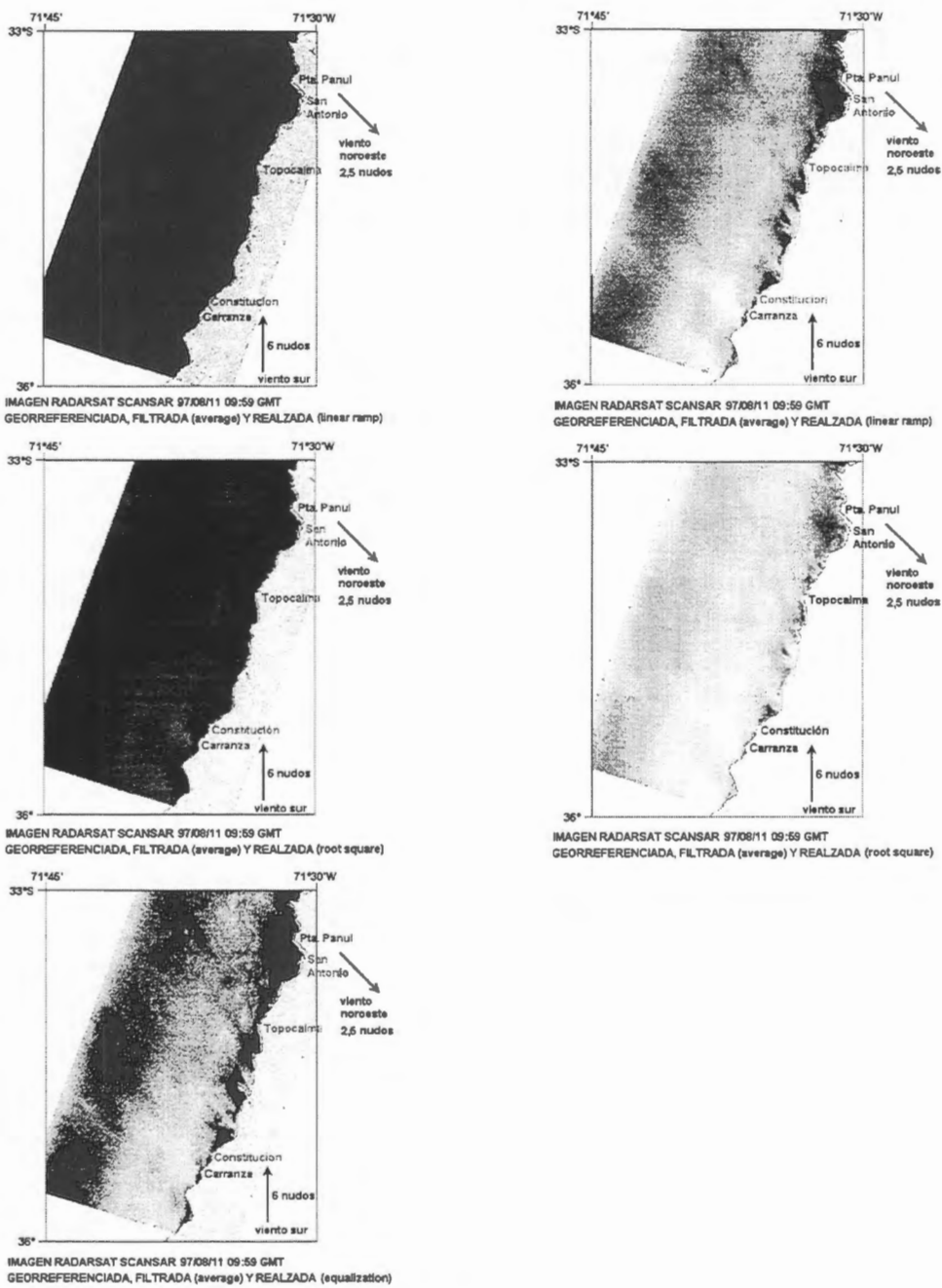


Figura 3. Imágenes RADARSAT de la zona central de Chile realzadas con equalización, infrecuencia, lineal y root square.

# **CONTRIBUCION DE IMAGENES RADARSAT DE BAJA RESOLUCION EN EL ESTUDIO DE LA DINAMICA OCEANICA EN LA REGION DE LA CONVERGENCIA SUBTROPICAL**

**Proyecto Argentina - Nro. 15**

**Domingo A. Gagliardini<sup>(1) (2)</sup>, Laura A. Frulla<sup>(1)</sup>, Jorge A. Milovich<sup>(1)</sup>,  
Mónica Rabolli<sup>(2)</sup>**

(1) Consejo Nacional de Actividades Científicas y Técnicas (CONICET)  
Julián Alvarez 1218, (1414) Buenos Aires, Argentina  
Tel.: (54-1) 772-1471, FAX: (54-1) 776-0410  
e-mail: antonio@caerce.edu.ar

(2) Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE)  
Paseo Colón 751, Buenos Aires, Argentina  
Tel.: (54-1) 331-0074, FAX: (54-1) 331-3446

## **RESUMEN**

La interacción entre las corrientes de Malvinas y Brasil (Convergencia Subtropical), de importancia tanto en aspectos científicos (oceanográficos y climatológicos) como en aspectos comerciales (pesca), ha sido estudiada en distintas oportunidades utilizando información NOAA/AVHRR. Sin embargo, a pesar de la alta frecuencia de observación de estos sistemas, su capacidad está limitada por que las nubes no son transparentes para longitudes de onda utilizadas. Considerando que las observaciones en microondas son independientes de la presencia de nubes y teniendo en cuenta que las imágenes de la superficie del mar obtenidas con radar muestran una serie de indicadores de procesos que ocurren en la atmósfera, en la superficie y dentro de la masa de agua oceánica los objetivos de este trabajo apuntan a definir la capacidad de las imágenes Radarsat de baja resolución para la determinación de patrones dinámicos del océano en la región de la convergencia mencionada y analizar la posibilidad de utilizar estos datos como información complementaria a la AVHRR, en particular durante períodos de alta nubosidad.

Para lograr los objetivos propuestos, hasta el presente se dispuso de cuatro imágenes RadarSat de tipo ScanSar Wide 2, dos de fechas 20 de febrero de 1997 y dos de 7 de agosto de 1997. Además se contó con imágenes NOAA/AVHRR e información sobre las condiciones de viento en la región para las mismas fechas. Estos últimos datos determinaron que para la primera fecha existió viento del sudoeste con velocidades comprendidas entre 34 y 40 nudos, mientras que para la segunda fecha existió viento del sudeste con velocidad comprendida entre 10 y 15 nudos. En el primer caso se detectaron además precipitaciones aisladas. A partir de las bandas térmicas del AVHRR se calcularon mapas de temperatura donde se observan claramente las estructuras correspondientes a la interacción de las corrientes de Malvinas y Brasil. Sin embargo dichas estructuras no se correlacionan con las presentes en las imágenes SAR, las que poseen características propias de las generadas por efectos atmosféricos tales como lluvia y tormentas.

A pesar de la diferencia entre las intensidades del viento para las fechas de captación de las imágenes SAR, las condiciones ambientales presentes parecen no ser las adecuadas para la observación de estructuras generadas por la confluencia entre las corrientes de Malvinas y Brasil. Por lo tanto, se considera que para poder obtener conclusiones válidas es necesario trabajar con un mayor número de imágenes. Pero, para hacerlo de manera eficiente se considera conveniente, por un lado, analizar qué otras órbitas, además de la utilizada, pueden ser adecuadas para el objetivo del proyecto y por otro, definir más adecuadamente las condiciones ambientales durante la captación de las imágenes utilizando datos de viento obtenidos a partir del dispersómetro a transportado por los satélites ERS.

## INTRODUCCION

La Convergencia Subtropical juega un rol muy importante tanto en aspectos científicos (oceanográficos y climatológicos) como en aspectos comerciales (pesca). Esta convergencia, conformada por la interacción de las corrientes de Malvinas y Brasil ha sido estudiada por diferentes investigadores particularmente utilizando información NOAA/AVHRR.

El sistema NOAA-AVHRR, trabajando en las bandas del visible, infrarrojo cercano, medio y térmico, observa un dado punto de la superficie terrestre dos veces por día. Dado que normalmente hay dos satélites en órbita, estos sistemas proveen cuatro imágenes diarias de una misma zona. Sin embargo, a pesar de esta alta frecuencia de observación, su capacidad está limitada por la presencia de nubes, no transparentes para estas longitudes de onda.

Las observaciones en microondas son independientes de la presencia de nubes. En este sentido las observaciones hechas con radar pueden ser de mayor utilidad en zonas con alta densidad de días nublados que aquellas hechas con sensores ópticos. Además hay que tener en cuenta que las imágenes de la superficie del mar obtenidas en la banda de las microondas, muestran una serie de indicadores de procesos que ocurren en la atmósfera, en la superficie y dentro de la masa de agua oceánica. Efectivamente, estas longitudes de onda presentan una sensibilidad especial a los cambios en la superficie del mar, los que pueden ser relacionados con procesos tales como ondas gravitatorias atmosféricas, tormentas, corrientes oceánicas, ondas internas, frentes, remolinos y con la topografía del fondo. Es así como, desde el lanzamiento del satélite SEASAT en 1978, el uso de las imágenes de radar en distintas aplicaciones marinas ha aumentado notablemente. De esta manera, los objetivos de este trabajo apuntan a:

- Definir la capacidad de las imágenes Radarsat de baja resolución para la determinación de patrones dinámicos del océano en la Región de Convergencia Subtropical, y en particular, la zona frontal definida por la interacción de las corrientes de Malvinas y Brasil y su área de influencia.
- Analizar la posibilidad de utilizar estos datos como información complementaria a la NOAA/AVHRR, en particular durante períodos de nubosidad.

## DESCRIPCION Y UBICACION DEL AREA DE ESTUDIO

Como ha sido indicado el Océano Atlántico Sur se caracteriza por dos corrientes muy importantes:

- La corriente de Brasil, que es una extensión de las corrientes cálidas Ecuatoriales del Atlántico Sur y fluye paralelamente a la costa brasileña en dirección sudoeste.
- La corriente de Malvinas, que es una corriente fría originada en el Cabo de Hornos, en la parte norte del Pasaje de Drake, a partir del cual se dirige hacia el norte bordeando las Islas Malvinas y en forma paralela a la costa argentina.

El encuentro entre ambas corrientes se produce frente a las costas de la provincia de Buenos Aires y frente a la desembocadura del Río de la Plata, conformando la denominada Confluencia Subtropical. La misma se caracteriza por presentar fuertes cambios estacionales de temperaturas y grandes fluctuaciones espaciales en el frente de las dos corrientes. El límite norte de esta confluencia se halla alrededor de los 24° S en el período mayo a julio y alrededor de los 36° S en Febrero.

En la figura 1 se presentan imágenes de temperatura superficial del mar obtenidas a partir de datos NOAA/AVHRR. Estas imágenes, provistas recientemente por el Servicio Meteorológico Nacional, fueron generadas mediante una composición de datos de varias fechas y son representativas de distintos meses para el año 1995. La zona geográfica que cubren está comprendida aproximadamente entre 30° y 48° S y 39° y 63° O. La tierra está enmascarada en blanco y las nubes en negro. Los tonos gris oscuro corresponden a la corriente de Malvinas (temperaturas más bajas). Los tonos gris claro corresponden a la corriente de Brasil (temperaturas más altas). Se puede observar en la serie de imágenes que el límite superior de la corriente de Malvinas desplaza su posición en los distintos meses. En febrero dicho límite se encuentra en su posición más al sur y en el período junio a agosto en su posición más al norte.

También en este período se nota con mayor contraste el frente entre ambas corrientes debido a una mayor diferencia de temperatura entre ellas.

## **INFORMACION UTILIZADA**

Para lograr los objetivos propuestos, hasta el presente este proyecto fue provisto de cuatro imágenes RadarSat de tipo ScanSar Wide 2, de fechas 20 de febrero de 1997 y 7 de agosto de 1997 (figura 2). Para cada fecha se capturaron dos imágenes consecutivas cubriendo un área de 500 km de ancho por 1000 km de largo. Además se dispuso de imágenes NOAA/AVHRR para las mismas fechas y para días previos y posteriores. Por otra parte las condiciones de vientos en la región fueron provistas por el Servicio de Hidrografía Naval. También se contó con información correspondiente a los mapas de vientos obtenidos a partir de observaciones realizadas por el NSCAT para los días 19, 20 y 21 de Febrero de 1997.

A partir de las bandas térmicas del AVHRR se calcularon mapas de temperatura de superficie de mar en coordenadas de latitud y longitud con el objeto de superponerlos y compararlos con las imágenes SAR. A partir de las bandas ópticas se construyó una máscara de nubes para los mapas de temperaturas. La figura 3 muestra estos mapas de temperatura para los días 21 de febrero y 8 de agosto de 1997.

Dada la gran diferencia entre las resoluciones espaciales de los sensores AVHRR (aproximadamente 1 km en el nadir) y las imágenes ScanSar Wide 2 (aproximadamente 50 metros), las imágenes se registraron entre sí utilizando un tamaño de pixel intermedio de aproximadamente 200 metros. Para la registración se utilizó remuestreo por vecino más próximo.

Los datos de viento provistos por el Servicio de Hidrografía Naval determinan que para la primer fecha existió viento del sudoeste con velocidades comprendidas entre 34 y 40 nudos, mientras que para la segunda fecha existió viento del sudeste con velocidad comprendida entre 10 y 15 nudos. En el primer caso se detectaron además precipitaciones aisladas.

Los datos del NSCAT, dada la baja resolución de esta información no fueron de utilidad para este trabajo, ya que no presentan ningún tipo de detalle en la zona de interés. Por otra parte se han solicitado datos de viento provenientes del dispersómetro embarcado en el satélite ERS-2, pero esta información aún no esta disponible.

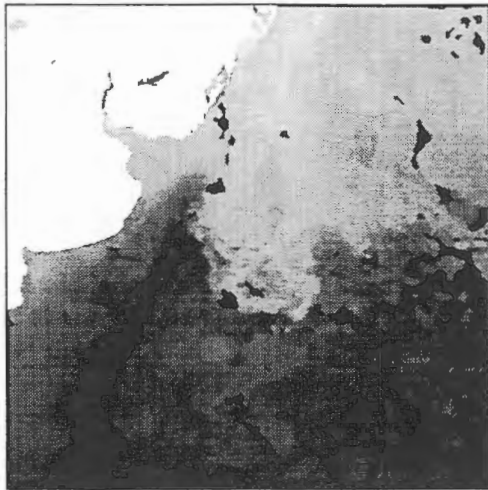
## **RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

En los mapas de temperatura superficial del mar generados a partir de las imágenes AVHRR (figura 3), se observan claramente las estructuras correspondientes a las corrientes de Malvinas y Brasil y a las generadas por la confluencia entre ambas.

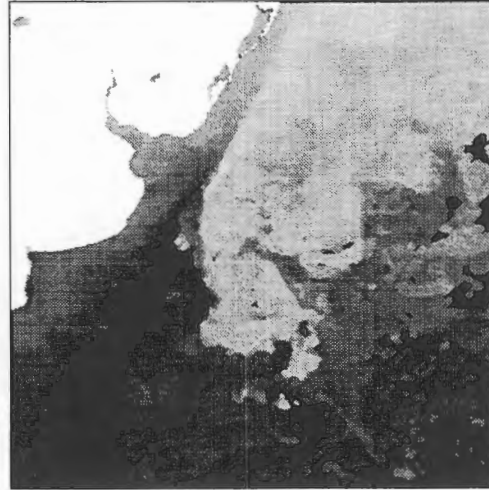
En las imágenes SAR (figura 2) las estructuras presentes no corresponden a las observadas mediante los mapas de temperaturas, por lo que no pueden correlacionarse con la posición de frentes y remolinos. Sin embargo, poseen las características propias de las generadas por efectos atmosféricos tales como lluvia y tormentas. Las figuras 4 y 5 muestran algunas de estas estructuras con más detalle.

A pesar de la diferencia entre las intensidades del viento para las fechas de captación de las imágenes SAR, las condiciones ambientales presentes para esas fechas parecen no ser las adecuadas para la observación de estructuras debidas a la confluencia entre las corrientes de Malvinas y Brasil mediante este tipo de sensor.

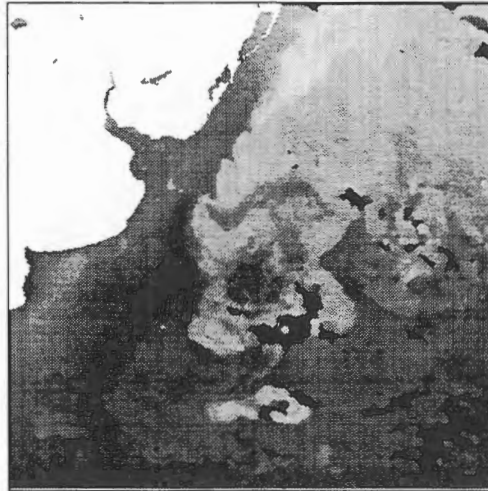
Por lo tanto, de la experiencia adquirida se considera que para poder obtener conclusiones válidas por un lado es necesario trabajar con un mayor número de imágenes. Por otro lado, teniendo en cuenta la disponibilidad reciente de mapas de temperatura NOAA del año 1995, y dada la extensión geográfica y variabilidad temporal del frente, se considera conveniente analizar que otras órbitas, además de la utilizada, pueden ser adecuadas para el objetivo del proyecto. Además, se considera necesario analizar datos de viento obtenidos a partir del dispersómetro a bordo de los satélites ERS para definir más adecuadamente las condiciones ambientales durante la captación de las imágenes.



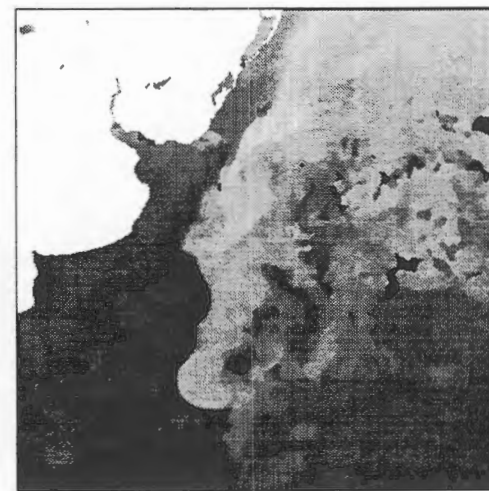
Febrero



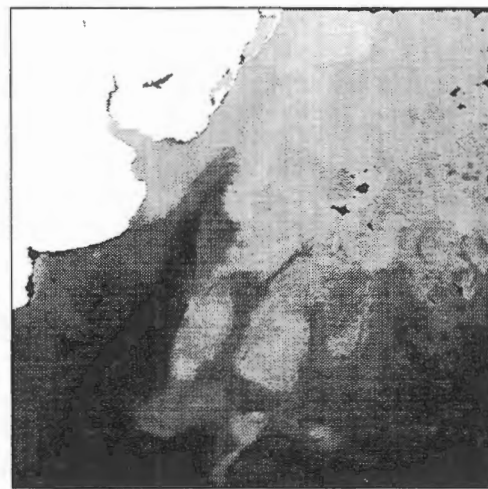
Abril



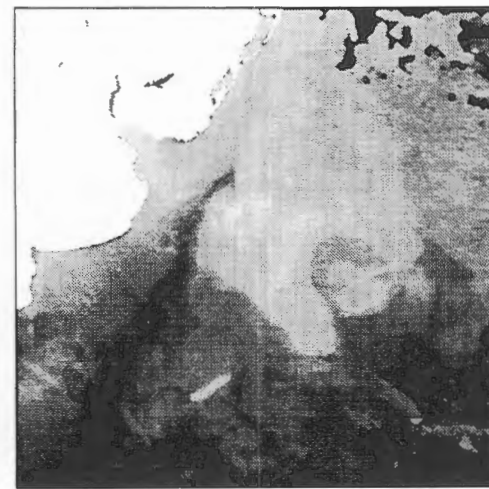
Junio



Agosto

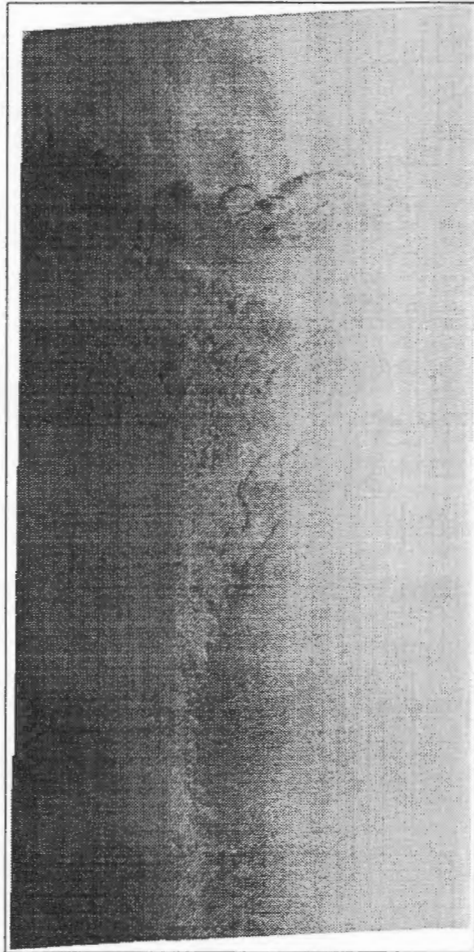


Noviembre

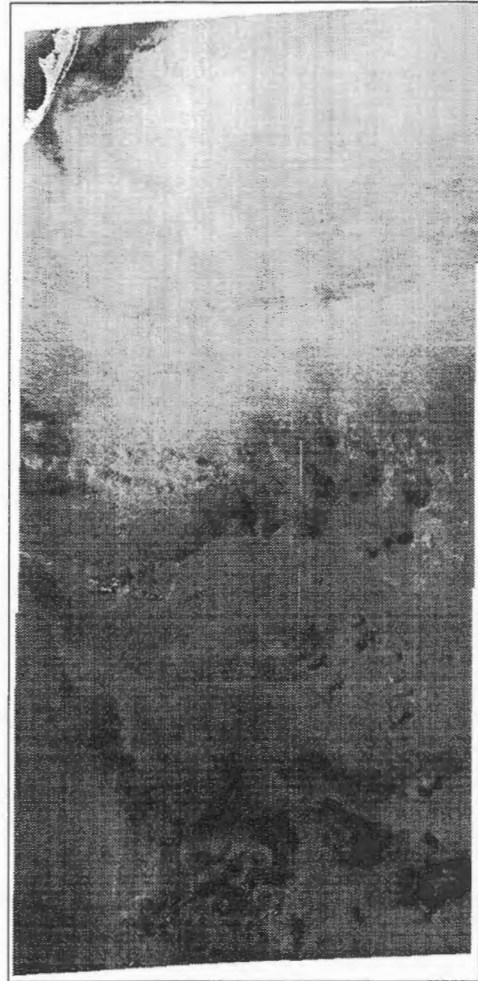


Diciembre

**Figura 1.** Mapas de temperatura superficial del mar correspondientes al año 1995.



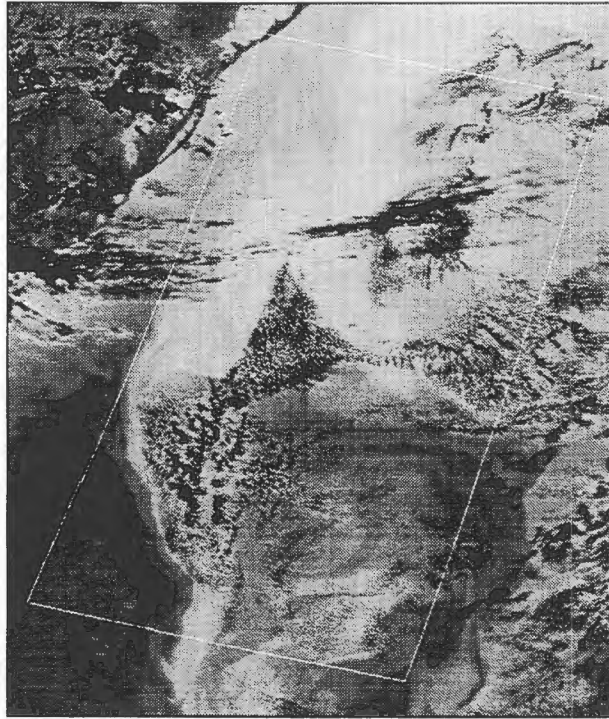
20 de febrero de 1997



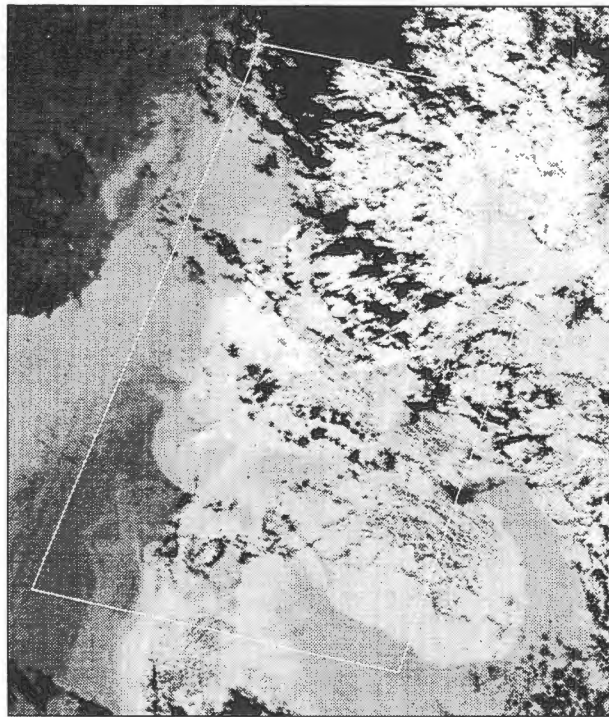
7 de agosto de 1997

**Figura 2.** Imágenes Radarsat Scansar Wide 2.



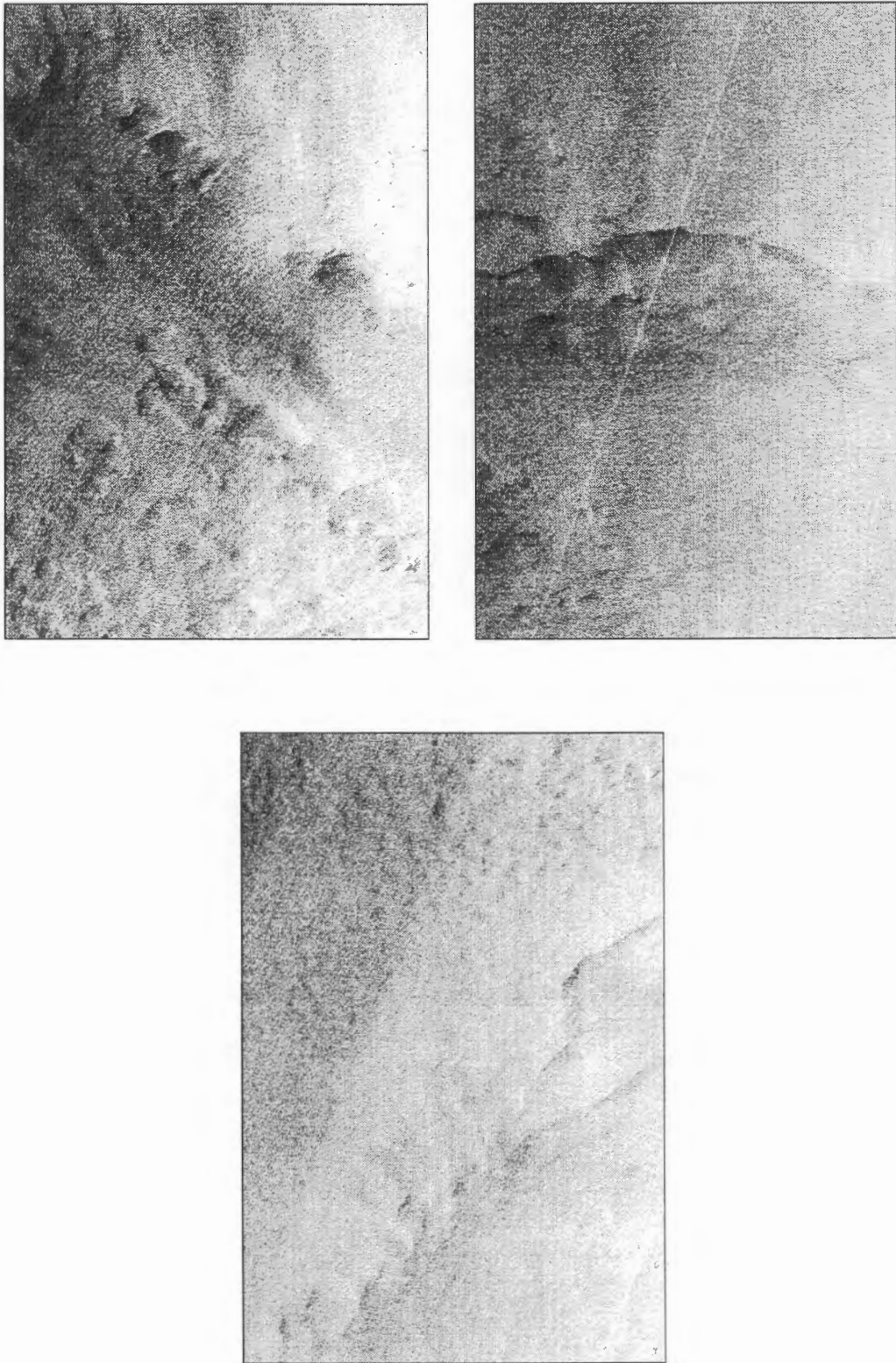


21 de febrero de 1997

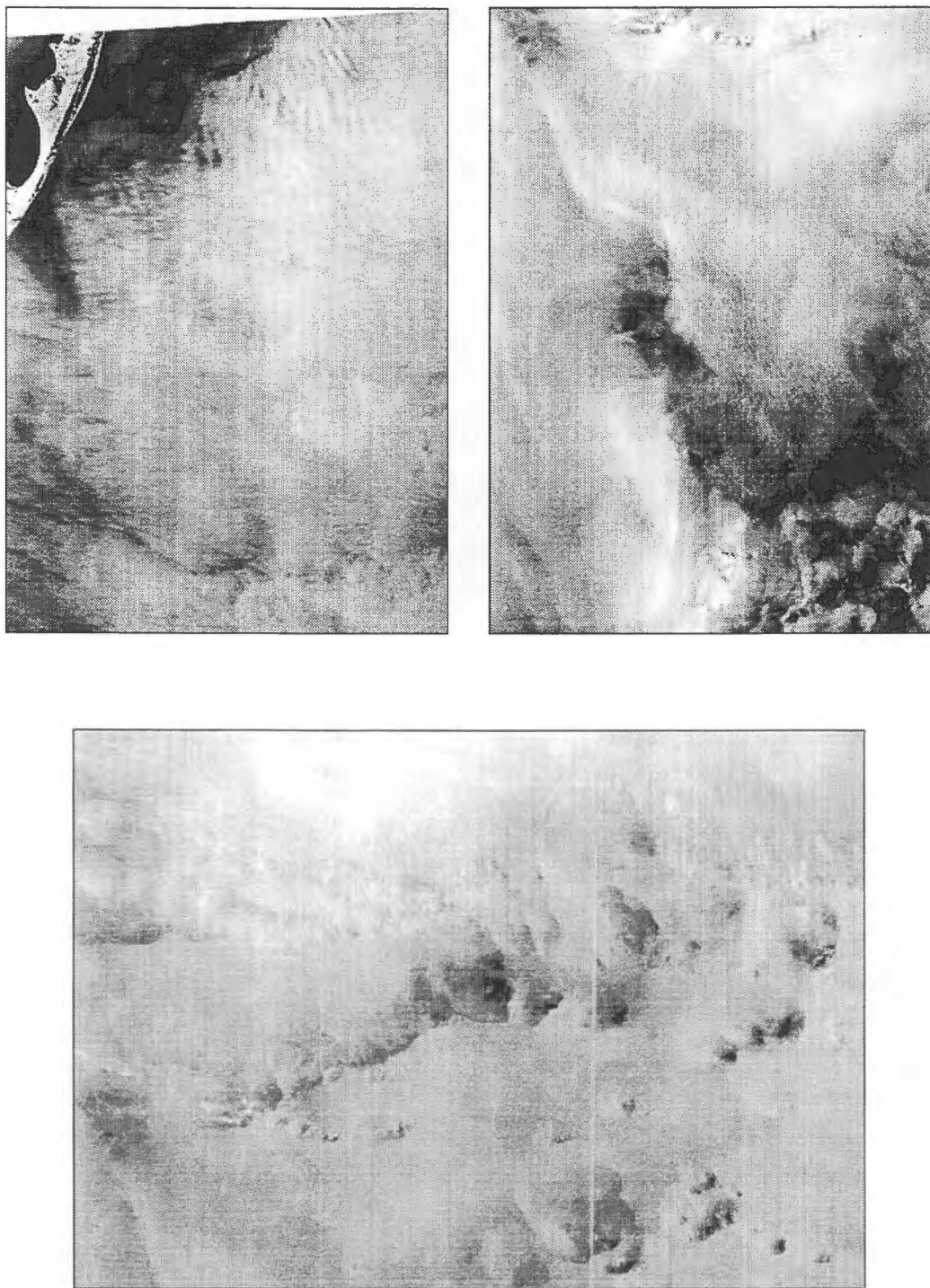


8 de agosto de 1997

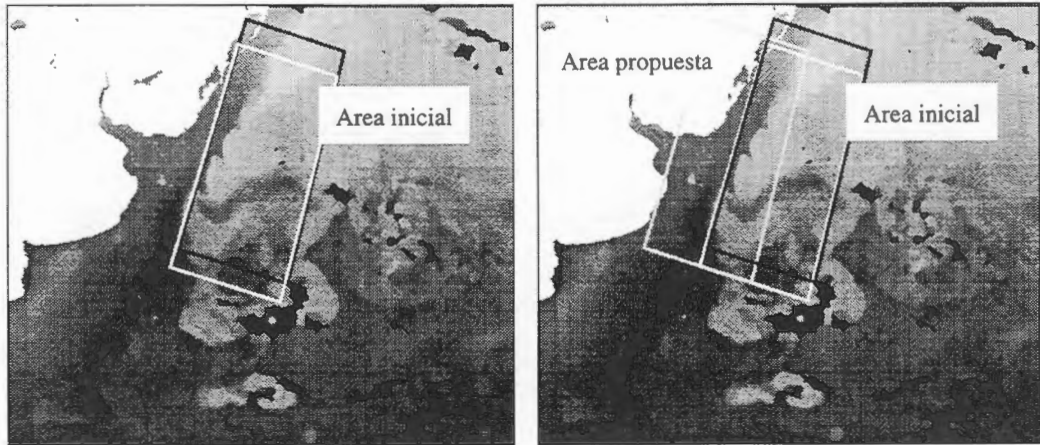
**Figura 3.** Mapas de temperatura superficial del mar obtenidos a partir de datos AVHRR. El recuadro indica la zona correspondiente a la imagen Radarsat.



**Figura 4.** Estructuras en detalle correspondientes a la imagen Radarsat de fecha 20 de febrero de 1997.



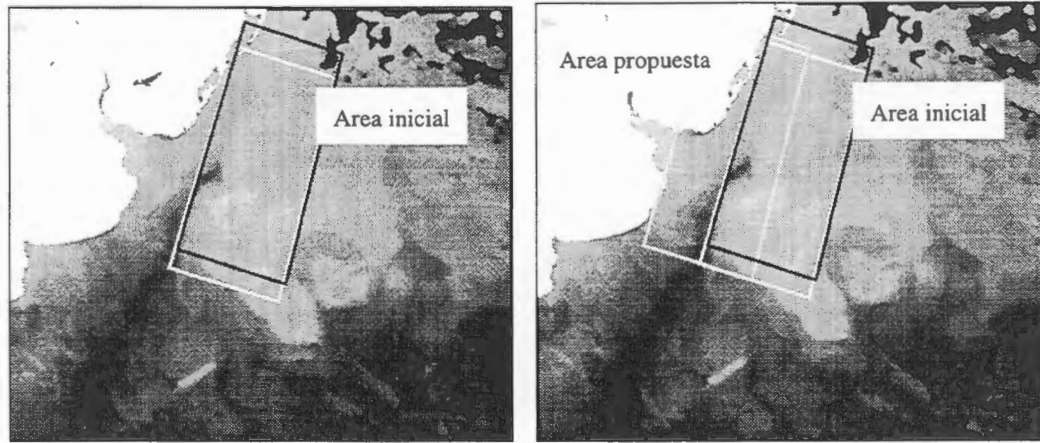
**Figura 5.** Estructuras en detalle correspondientes a la imagen Radarsat de fecha 7 de agosto de 1997.



(a)

(b)

Invierno



(a)

(b)

Verano

Mapas de temperatura superficial de mar de invierno y verano de 1995 superpuestos con las regiones que abarcan (a) el área propuesta por el proyecto inicialmente y (b) el área desplazada.

**Use of RADARSAT data to monitor ocean features in the Victoria-  
Trindade seamount chain region: a feasibility study .  
(GlobeSAR-2, Project Brazil - 25 )**

**João A Lorenzetti and Carlos E.S. Araujo**

Brazilian Space Research Institute-INPE  
São José dos Campos -SP, Brazil  
tel. 55-123-456478 fax. 55-123-456488  
e-mail: [loren@ltid.inpe.br](mailto:loren@ltid.inpe.br); [salles@ltid.inpe.br](mailto:salles@ltid.inpe.br)

**ABSTRACT**

Three Radarsat scenes were recorded for the area of Victoria-Trindade seamount ridge in the western South Atlantic along the Brazilian continental shelf and adjoining region. This is an oceanic area where the Brazil Current (BC), a southward warm and saline water large scale flow, interacts with a very complex topographic feature. After interacting with the ridge, the BC flows southwestward over the Campos oil field, the most important offshore petroleum site of the Brazilian shelf. This paper presents some preliminary results of using ScanSAR Wide data digitally processed to monitor oceanic features in the region. Speckle reduction was done using a simple averaging technique. Image registration was done using 255 control points part of the digital data stream and a third order polynomial model. The preliminary results indicate that the recorded images contain useful information about oil spills, oceanic and atmospheric fronts, meandering of ocean currents and were able to detect a large number of ships and oil platforms. One image was strongly contaminated by several heavy rainfall cells which could be one of the major limiting factors in using such kind of imagery in this region.

**Introduction**

The Victoria-Trindade seamount chain is known to exert a strong influence on the transport of heat, momentum and mass in the western boundary of the South Atlantic. This topographic feature, of about 1000 km of longitudinal extension, represents a great barrier to the southbound flow of the BC, the main surface current of the region. After interacting with the ridge, BC flows southwestward over the Campos Basin, considered the most important offshore oil field site of the Brazilian continental shelf. Despite of the scientific and economical importance of the region, limited information is available with respect to the mean and temporal variability of the currents, main trajectories of the flow, mesoscale phenomena present in this region etc. The use of orbital optical sensors to monitor the area are quite often limited by the high cloud coverage present throughout the year. Microwave sensors, such as the Radarsat could offer a good potential for monitoring this oceanic region.

In this paper we present the preliminary results of using Radarsat digital images to monitor oceanic features and some environmental parameters derived from ScanSAR Wide mode data for the area.

**Study Area**

The study area (Fig. 1) is located in the SW South Atlantic and can be generically classified as a tropical ocean environment. Our interest is focused in the region between 14 and 24° S and from the coastline to about 34° W. As indicated in Fig. 1, several shallow underwater banks part of the Victoria-Trindade ridge are present in the area. Also present in the region are many parcels which are a risk to navigation. The



continental shelf width, loosely indicated by the 1000m isobath, shows a great variability. The maximum width is observed in the Abrolhos archipelago around 18° S, where it reaches about 200 km. The most important oceanic feature of this region is the Brazil Current that tends to follow the shelf break but also flows partly through the channel between the shelf and the Vitória Bank ( in the vicinity of 20° 30'S ; 38°W) and partly more offshore and east of the bank.

#### **Material and methods**

Given the large extent of the region of study, three ScanSAR Wide Radarsat scenes were requested. Two descending orbit scenes were recorded on July 15 and one ascending orbit was recorded on July 21, all in 1997. See Fig. 1 for the coverage of these three scenes. Data was provided in CDROM media with 8 bits resolution and 50m of pixel spacing. After an initial test of several speckle reduction filters, it was observed that a simple averaging would be sufficient. Georeferencing was done using 255 control points coming with the digital data to a Geographic LONG/LAT projection, through a least squares third-order polynomial mathematical model. A non-linear contrast stretch was finally applied to the rectified image to help the visual interpretation on the screen.

AVHRR sea surface temperature (SST) images for the same region were processed to help the interpretation of some features present in the SAR images. For July 15, an useful SST map was generated. For day July 21 two images were processed, but proved not useful. The first one corresponded to a NOAA-N satellite orbit much to the west and covering only a small portion of the area of interest. The other SST image was heavily contaminated with noise. Efforts are being undertaking to find a substitute for this AVHRR image.

#### **Preliminary Results**

In order to assess the accuracy of the georeferencing procedure, we compared the coordinates of 13 offshore oil platforms belonging to Petrobras, the Brazilian oil company, with the pixel coordinates corresponding to each of these targets. These metallic structures were easily identified in the image due to the high backscatter. The root mean square error between the true and calculated coordinates was about 181m.

Fig. 2 shows July 15 descending orbit Radarsat image of the south area. The 200 and 1000 m isobath lines are superimposed on the image to indicate the separation between the continental shelf and the deep ocean regions. On the upper left corner of Fig. 2 it is observed a very long frontal line running in the NS direction. Lack of *in situ* oceanic and meteorological data prevents us from coming to a conclusive interpretation for this feature. We, however, speculate that it could be caused by a wind shear front associated with the marine boundary layer that is modulated by the sea-breeze in this region. It is interesting, though to notice that the higher scattering area is in the inshore side of the front in its northern portion, reversing to the offshore side as we move south along the front.

With a center near 20° S and 38° W, it is possible to observe in Fig. 2 a train of atmospheric gravity waves. The waves appear to be propagating from SW to NE and the wavelength shows an increase in the northward direction. The modulation of the



surface backscatter is supposed to be caused by the variation of the surface wind speed associated with the waves. The darker (brighter) areas correspond to regions with lower (higher) wind speed.

A large oil slick is observed in the upper left corner of the image. Several other smaller slicks are also observed in the lower left part of image in the Campos oil field basin. Despite the relatively low space resolution of this image mode (100 m) it is possible to observe in various parts of the scene bright spots that are manifestations of ships and oil platforms. In particular, note such features in the upper left near the edge of figure, near the coast in the port of Vitória (20° 20' S) and at the lower left corner in the Campos basin.

Although relatively weak, a cyclonic meander of the BC oceanic west front was detected in the Campos Basin. The center of this circulation is located around 22.7° S and 40.5° W. A zoom of this area is shown in Fig. 3. The shape of an oil spill in the BC frontal zone shows that, after making a cyclonic gyre, the circulation returns to its normal southwestward direction. An analysis of the same area in the AVHRR image for the same day (Fig. 4) confirms that this feature is in fact the inshore wall of the BC.

Johannessen et al. (1994) inform that the detection of meanders, eddies and current boundaries is possible in SAR images under moderate winds between 3 to 10 ms<sup>-1</sup>, which are normal conditions in this area. The following mechanisms are suggested for the detection of these features: a) the convergence of the flow in the front would favor the presence of natural slicks and the damping of short gravity waves; b) the current shear and/or the convergence of the flow could induce short gravity-wave/current interactions along the front; c) strong sea surface temperature gradients across the front could induce changes in wind stress; and d) long-gravity-wave/current refraction.

Auxiliary data would be necessary to sort out which of these mechanisms was dominant in the case analyzed. We tend to believe, however, that the b) mechanism seems the most plausible considering the average conditions of the area and the characteristics of the front in the image.

The large dark area at the right side of image (Fig. 2) seems to be related to a low wind region. The high radar backscatter areas at the right margin of the image (Fig. 2) with a higher texture correspond to heavy clouded areas as can be observed in the AVHRR image of the region (Fig. 4).

Fig. 5 shows the Radarsat image for July 21. See Fig. 1 for the location of this image in the region. This is a typical case of a SAR image highly contaminated by heavy rain cells. As explained by Johannessen op. cit., the turbulence created when heavy rain hits the surface of the ocean dampens out the Bragg scattering waves, creating a low radar backscatter in the center of the rain cell. An increased backscatter is normally observed around these dark areas.

### Conclusions

These preliminary results show that Radarsat ScanSAR Wide mode imagery can be a useful tool to detect a number of features present in the study region. The conclusive interpretation of some of these features demands, however, a combination of environmental ancillary data and/or optical remote sensores such SST maps or visible imagery. Oil spill and ship detection, two important economic applications, seem to be

very feasible using these images, although the 100m resolution might be a problem to detect small ships. Mesoscale features such as currents, meanders and vortices are possible to be detected, but the proper range of environmental conditions are a limiting factor. A larger number of images should be analyzed to assess these limitations. Heavy rain, not uncommon in the region, is an significant limiting factor. We consider, however, these results and conclusions as only preliminary results. More conclusive results are expected by the end of the project.

#### Acknowledgments

The authors wish to thank the Canada Center for Remote Sensing (CCRS), the RADARSAT International Inc.(RSI), and the Canadian International Development Agency (CIDA) for providing the RADARSAT imagery for this study under the ClobeSAR-2 Program. Support from Brazilian Space Research Institute (INPE) has also been very important.

#### References

Johannessen, J.A., G. Digranes, H. Espedal, O.M. Johannessen and P. Samuel. *SAR ocean feature catalogue*. ESA SP-1174, October, 1994, 106 pp.

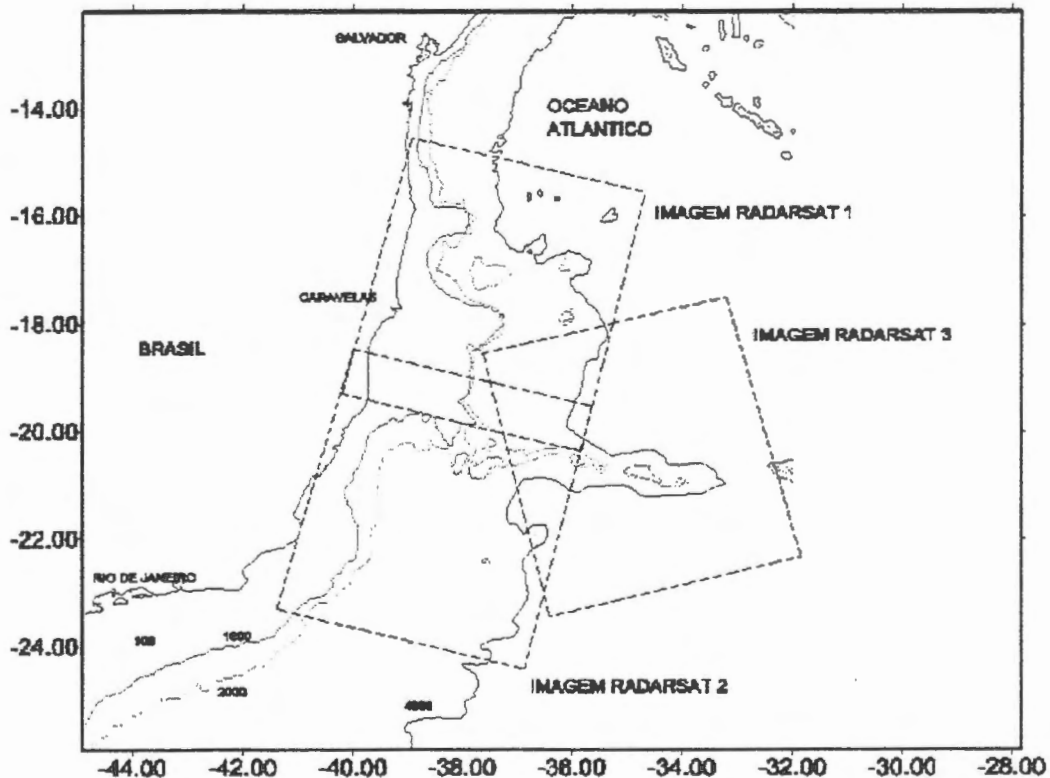
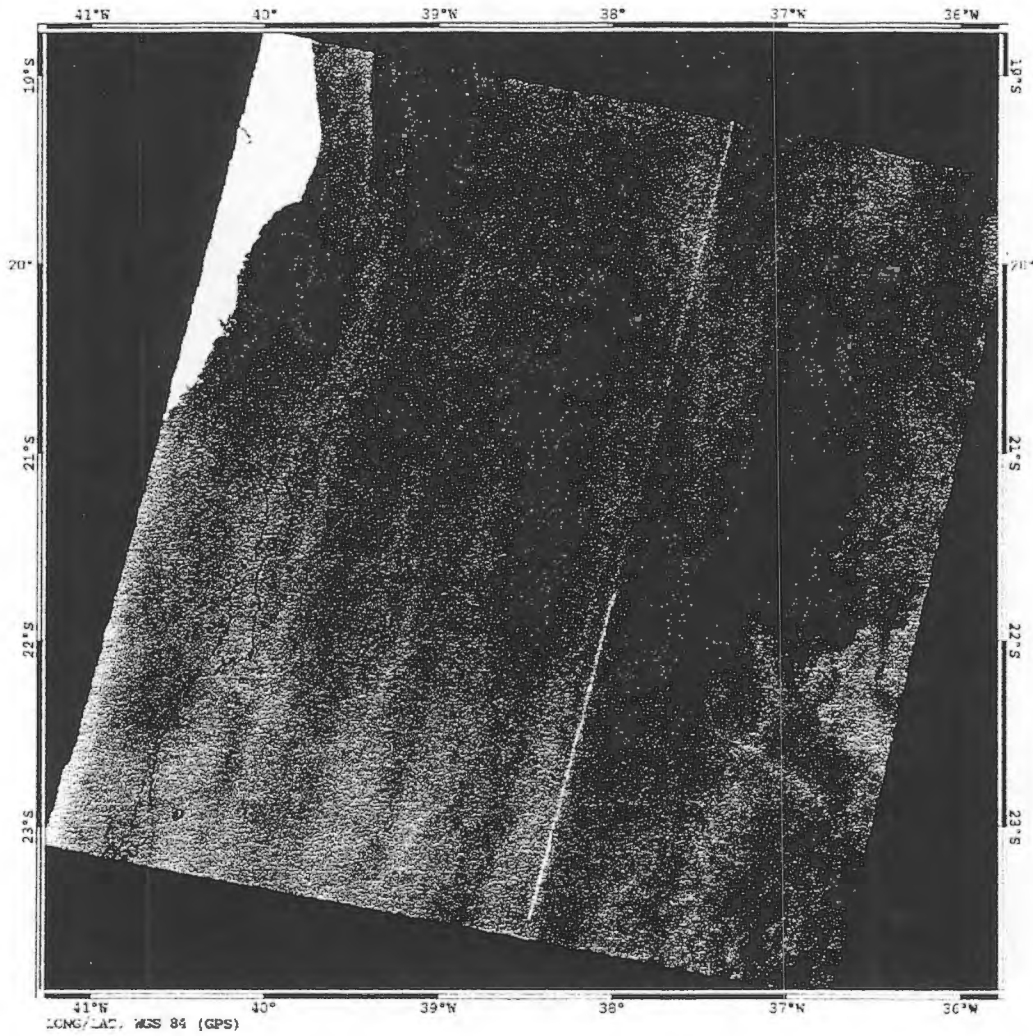


Figure 1. Location of the study area and of the three Radarsat recorded scenes.



**Figure 2. Processed Radarsat image of July 15, 1997 with 200 and 1000 m isobath lines superimposed.**

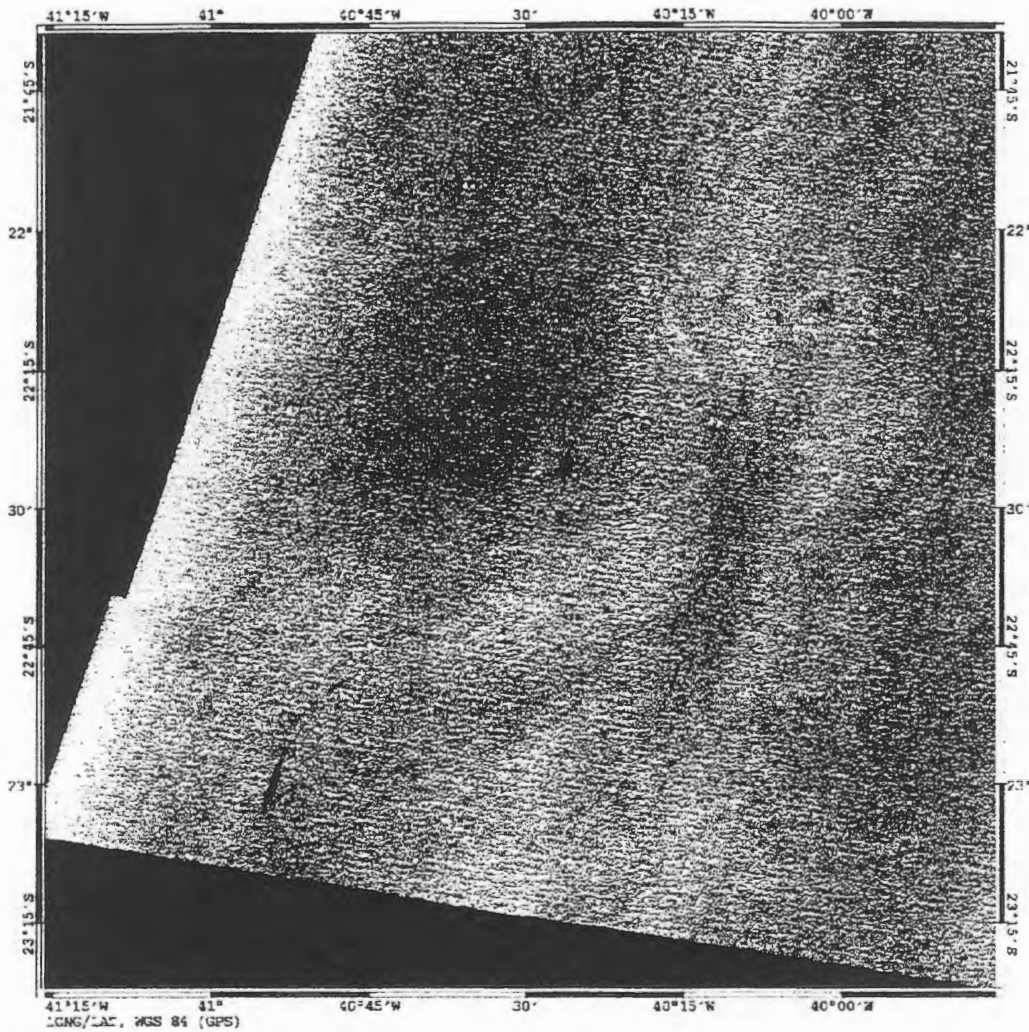


Figure 3. A zoom of the southwestern corner of Fig. 2.

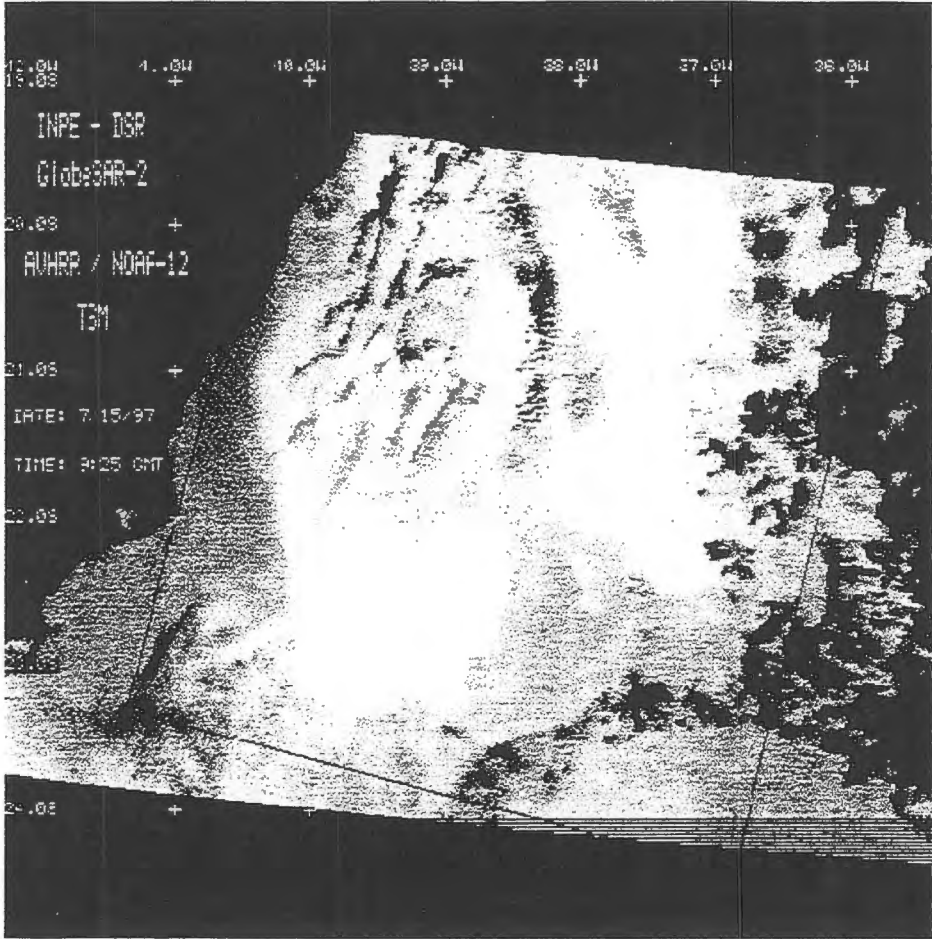


Figure 4. SST image of July 15, 1997 for the same area of Fig. 2.

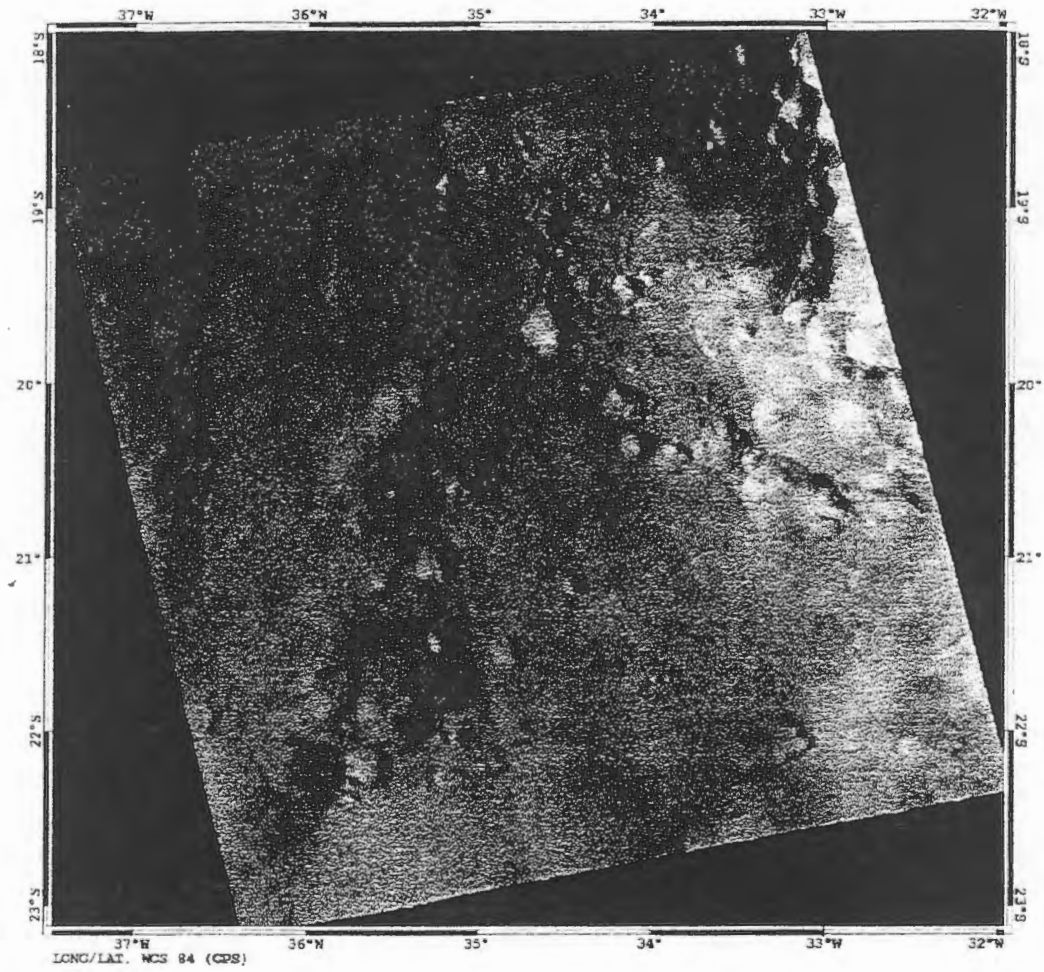


Figure 5. Processed Radarsat image of July 21, 1997.



# Identificación de cultivos bajo riego y de secano con imágenes Radarsat-1.

Uriel Pérez G<sup>1</sup> y Cristina Salvatierra<sup>2</sup>

Oficina CIAF del Instituto Geográfico Agustín Codazzi  
Carrera 30 No. 48-51, Santafé de Bogotá D.C., Colombia  
Tel. 571-3681031 Fax 571-3680950, A.A. 53754

<sup>1</sup> / E-mail: uperez@igac.gov.co, A.A. 32390 Santafé de Bogotá D.C.

<sup>2</sup> / E-mail: csalvati@igac.gov.co

## RESUMEN

Se describe el proceso de identificación de los cultivos bajo riego (el arroz) y secano (sorgo) y de algunas de sus diferentes etapas fenológicas, a partir de información proveniente de imágenes de Radarsat-1 de tres fechas, en modo estándar 7 ascendente, en formatos digitales. Determinando los alcances del uso de la tecnología de Radarsat-1, aunado a información proveniente de GPS y de bases de datos agrícolas. Para el estudio se localizaron parcelas muestras, sobre las cuales se realizó el seguimiento de los diferentes estados fenológicos de los cultivos de interés. La anterior actividad fue desarrollada paralela a la toma de las imágenes de Radarsat. Algunas de las etapas fenológicas, definidas para cada uno de los cultivos, pueden ser identificadas a partir de los datos de Radarsat, existiendo confusión al tratar de separar la segunda fase fenológica (desarrollo vegetativo) de cada uno de ellos.

## 1. Introducción

Dentro de los diferentes elementos que conforman el paisaje, uno de los más dinámicos es el uso de la tierra, este dinamismo puede deberse a una acción propia del hombre o sencillamente por acondicionamientos externos, tales como los climáticos. Por esa dinámica y por su importancia en la economía en Colombia se hace necesario la determinación de su comportamiento tanto espacial como temporal, para de esta forma poder diseñar alternativas de manejo, protección y comercialización. Inicialmente se recurre al estudio de cultivos específicos de interés dentro del proceso de globalización comercial del país, como son el arroz y sorgo.

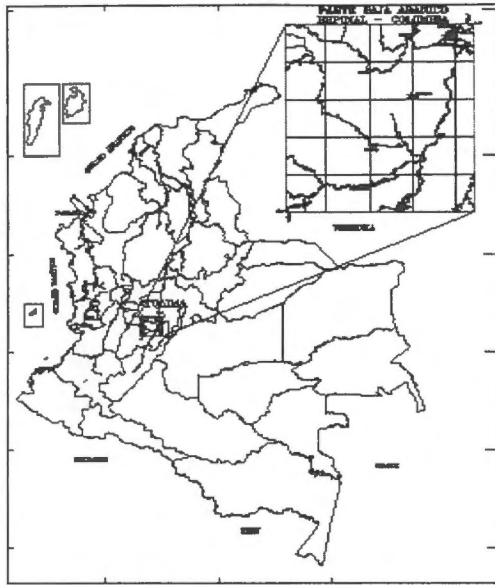
A nivel mundial se ha demostrado el aporte de la percepción remota en la identificación (DARMAWAN, M., et. al., 1997; NAGESWARA R. P. y RAO, V. R. 1987) y determinación de producción (KOHL H. G., et. al., 1994; SRIDHAR V. N., et al., 1994) de cultivos específicos, además de algunas de las fases involucradas en su manejo (McNAIRN, H., et. al., J.1997). En el ámbito nacional, instituciones como el IGAC (GONIMA, L et. al.,1991; SIONNEAU, J. 1991) y el CIAT han realizado estudios de cultivos específicos apoyados en datos de percepción remota.

Lo anterior demuestra que la percepción remota se convierte en una alternativa para la obtención de dicha información, y especialmente en estas áreas tropicales. Por lo que en este estudio se tiene como objetivo identificar dos cultivos, arroz y sorgo, como también algunas de sus etapas fenológicas, con fines de apoyar los procesos a los cuales inicialmente se hacia referencia.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1 Area de estudio

La zona de estudio se encuentra localizada en el departamento del Tolima, entre las coordenadas 3° 53', 4° 20' Latitud Norte y 75° 09', 74° 45' de Longitud al Oeste de Greenwich (Figura 1), formando parte de un abanico sobre el cual se ubica el distrito de riego de USOCOELLO en donde el uso de la tierra y la economía esta basada sobre una producción agrícola intensiva, con altos niveles tecnológicos. Allí se cultivan



**Figura 1:** Localización del área de estudio.

especialmente el arroz, algodón y el sorgo. El área posee una pendiente promedio del 3 por ciento, con una altura sobre el nivel del mar entre los 250 a los 400 metros, con una precipitación media anual de 1500 mm y una temperatura media anual de 28 °C. El clima del área esta catalogado como cálido seco.

## 2.2 Materiales y equipos

Los materiales utilizados fueron los siguientes:

- Imágenes de RADARSAT 1, Estándar 7, en formato digital para las siguientes fechas: 17-07, 02-09 y 13 - 11 de 1997. Estas imágenes fueron proporcionadas por el proyecto GLOBESAR 2.
- Cartografía básica a escala 1:100.000 (Fuente IGAC)
- Cartografía de ubicación de predios de USOCOELLO a escala 1:10.000
- Fotografías aéreas a una escala aproximada de 1:40.000
- Fotografías de 35 mm (fuente campo)
- Estudios de suelos (IGAC, 1983)
- Registros climáticos (CORPOICA, 1997)
- Formularios para la recolección de datos en campo en los tres momentos definidos dentro del proyecto.

Con respecto a los equipos, se utilizó para el procesamiento digital, un estación de trabajo Silicon Graphic, la cual estaba en red con un PC. Aunado a lo anterior se utilizaron un ploter HP 750CM, un GPS, una cámara fotográfica y una de vídeo.

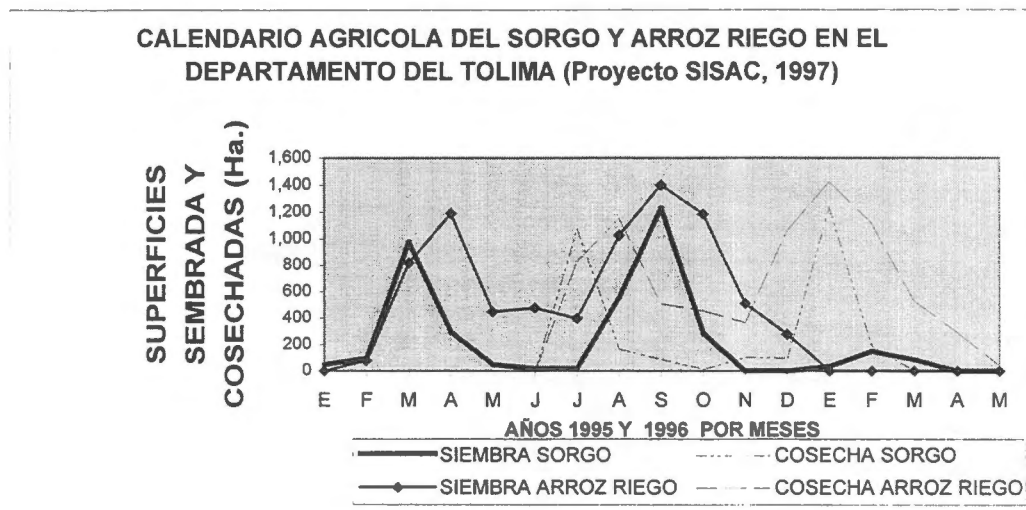
Como programa para procesamiento digital se utilizó PCI versión 6.2, para SIG el PC ARC/INFO versión 3.5 y para manejar los datos provenientes de USOCOELLO el Access.

## 2.3 Metodología

Las siguientes fases fueron realizadas dentro del presente proyecto:

- Determinación de un calendario agrícola: Como un primer acercamiento al comportamiento de los cultivos dentro del área de estudio, se recurrió a asumir un calendario agrícola (Figura 2) específicamente para los cultivos de interés (Fuente: proyecto SISAC -Sistema de Información del Sector Agropecuario Colombiano - del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas, DANE). Esto permitió definir las fechas de toma de las imágenes, con su respectivo levantamiento de información en campo.
- Determinación de las diferentes etapas fenológicas para los cultivos de Arroz y Sorgo: Se definieron 4 etapas, las cuales fueron: Establecimiento, desarrollo vegetativo, floración y cosecha.
- Localización de las parcelas: Apoyado en una imagen de Landsat TM – 4,5,3 de 1996; la cartografía de predio de USOCOELLO y en la cartografía base a escala 1:100.000 del IGAC se procedió a definir la localización de 13 parcelas.
- Programación y toma de datos de RADARSAT y los datos de campo: Los datos de RADARSAT fueron tomados para el 17-07, 02-09 y 13 - 11 de 1997 en modo estándar 7, ascendente, las cuales corresponden a las etapas fenológicas de siembra, desarrollo vegetativo, floración y cosecha para ambos cultivos. Los datos de campo fueron recolectados paralelo a la toma de las imágenes, exceptuando en la primer fecha por lo que se recurrió a las bases de datos de USOCOELLO. De estas bases de datos se consultó, para las parcelas de interés, el suministro de agua y el registro de uso ocurrido para la fecha de interés.

El levantamiento de los datos fue apoyado por un formulario, diseñado de acuerdo a las experiencias del CIAT (Centro de Agricultura Tropical), Radarsat y el CIAF. Estos datos fueron codificados, almacenados, analizados e integrados a los procesos de los datos de Radarsat.



**Figura 2.** Calendario agrícola del sorgo y arroz riego en el Dpto. del Tolima.

- Procesamiento, análisis, integración de los datos de Radarsat: A continuación, se presentan los diferentes pasos y procesos a los cuales fueron sometidas cada una de las imágenes de Radarsat involucradas en el proyecto:
  - Lectura de la imagen

- Análisis de los histogramas
- Cálculo del coeficiente de retrodispersión  $\beta^\circ$  en unidades de amplitud
- Recorte
- Geocodificación
- Aplicación de filtros (sobre ventanas de ubicación de parcelas)
- Cálculo de imágenes de parámetros texturales
- Clasificación no supervisada
- Clasificación supervisada (se tomo la imagen del 02 de septiembre, como base de análisis, junto al resultado de los dos mejores análisis de textura (media y homogeneidad)).
- Análisis estadístico.

Apoyados en la versatilidad de manejo de los datos, la secuencia de los procesos enumerados anteriormente no fue jerárquica. Aunado a los anteriores procesos se integraron datos provenientes de un SIG, tal como: red hidrográfica, canales y los predios; y de una base de datos cuyas fuentes correspondieron a GPS y a los registros de entrega de aguas y de uso específico en el ámbito de parcela.

### 3. Resultados y análisis:

La aplicación del programa SARBETA de PCI permitió recuperar los valores de  $\beta^\circ$  (el coeficiente de retrodispersión por unidad de superficie de la imagen en proyección oblicua) a partir de los números digitales de la imagen, eliminando el efecto de los factores aditivos y multiplicativos (LUTs) que se aplican a  $\beta^\circ$  cuando se graban los datos en un formato de 16 bits. Este proceso se utilizó como un primer paso para luego poder ejecutar la aplicación de diferentes tipos de filtros para una mejor visualización de las clases a identificar, por brindar un mejor efecto de bordes entre las parcelas con uso de la tierra en diferentes estadios fenológicos. El filtro que brindó una mejor visualización de los efectos de bordes fue el FROST, el cual se aplicó sobre una matriz de 5 x 5 píxeles y con un factor de amortiguamiento de 1.0.

Posteriormente fueron empleados diversos algoritmos en el cálculo de imágenes de parámetros texturales, los cuales no aportaron mayores elementos para la discriminación de los cultivos objetos de estudio en los estadios fenológicos correspondientes a las últimas etapas de crecimiento, ni de los pastos seminaturalizados presentes en la ventana de trabajo. Sin embargo fueron muy útiles en la identificación del arroz, en su etapa de establecimiento, por los efectos producidos por la alta saturación de agua en el terreno cultivado (Figura 3).

La clasificación no supervisada fue realizada como una primera aproximación a la clasificación digital de la imagen de  $\beta^\circ$ . Se estipularon inicialmente 16 clases radiométricas (por medio de los clasificadores ISODATA y KMEANS) pero se observó una generalización de las mismas, por lo cual se resolvió disminuirlas a 12 clases. El resultado de este proceso fue más claro con el clasificador ISODATA; sin embargo no se logró separar arroz en el estado de establecimiento de los pastos seminaturales ni los estadios de desarrollo vegetativo entre sorgo y arroz.

En las Figuras 4 y 5, se presentan una ilustración de algunos de los patrones identificados en las imágenes originales correspondientes a algunos estados fenológicos de los cultivos de arroz y sorgo.

La clasificación supervisada permitió una mayor precisión en la identificación de algunos de los estadios fenológicos (tales como establecimiento y cosecha) para los cultivos de arroz y sorgo. Los patrones radiométricos y texturales, identificados de manera visual en la imagen, posibilitaron la determinación de 9 áreas de entrenamiento.

En el caso particular del arroz en la etapa de floración, la *divergencia transformada* (un indicador de la separabilidad espectral, descrito en Swain and David, 1978), frente al sorgo en estado de desarrollo vegetativo, fue de 1.4 mientras que para el arroz en estado de establecimiento frente al sorgo en estado de desarrollo vegetativo fue de 0.9. En promedio, el resultado estadístico del análisis de separabilidad espectral arrojó los siguientes resultados: por el método de *Divergencia Transformada*, la separabilidad fue de 1.63 mientras que por el método de la distancia de *Bhattacharrya* fue de 1.58. Ambos indicadores

sugieren una separabilidad general buena, dada las características de los datos de radar para este tipo de estudio.

Como una segunda fase de esta investigación se propone profundizar sobre los análisis de detección de cambios en un mismo período vegetativo, entre los dos cultivos objeto de estudio en el ámbito local. Este análisis podrá ser posible por la existencia de los datos de campo y las bases de datos en poder de las entidades agrícolas ubicadas en el área, tal como USUCOELLO o CORPOICA.

#### **4. Conclusiones y recomendaciones:**

1. La identificación de los cultivos de arroz y sorgo se dificultan en la etapa de desarrollo vegetativo (segunda etapa fenológica)
2. Las etapas fenológicas 1, 3 y 4 se diferenciaron en un mismo cultivo y entre cultivos.
3. La incorporación de bases de datos geográficas (predios, canales y vías) aunado al análisis visual y radiométrico multiestacional, sirvieron como apoyo en la identificación y correlación del uso presente en cada una de las parcelas muestreadas en campo.
4. Desde el punto de vista de eficiencia y exactitud en la identificación de los cultivos transitorios, se recomienda la utilización del modo fino de RADARSAT

#### **Reconocimientos:**

Queremos dar las gracias a Helena Posada, técnico científico del CIAF, por su colaboración con el uso el programa PCI; a la Dra. Nathalie Beaulieu, por sus comentarios sobre el presente artículo; al proyecto GLOBESAR 2, por el suministro de los datos de Radarsat y por el apoyo técnico dentro del desarrollo de la investigación.

#### **Referencias bibliográficas:**

BROWN, R. J. STAENZ, K. McNAIRN, H., HOPP, B. AND VAN ACKER, R. 1997. Application of high resolution optical imagery to precision agriculture. International Sinposium GEOMATIC IN THE ERA OF RADARSAT – GER'97, Ottawa, Canada. 9 p.

DARMAWAN, M., PONIMAN, A., KARDONO, et. al., 1997. Determination of agricultural crop type in relation with culture monitoring using Radarsat: A case study of site Ujung Pandiang – South Sulawesi (ADRO 630 – Project). International Sinposium GEOMATIC IN THE ERA OF RADARSAT – GER'97, Ottawa, Canada. 11 p.

GONIMA, L., SUAREZ, A., y J., LEON. 1991. Estudio radiométrico de zonas agrícolas utilizando imágenes de satélite SPOT. Rev. CIAF, Vol. 12, No. 1.

GREEN J.E. et al., 1993. Assessing classification probabilities for thematic maps. Photogrametric Engineering & Remote Sensing, Vol. 59, No. 5.

KOHL H. G., NEZRY, E AND De GROOF, H. 1994. Crop acreage estimation with ERS-1 PRI images. Earth Observation Quarterly, No 46 - December 1994.

McNAIRN, H., GWYN, Q. J., BROWN, R. J. WOOD, D. 1997. Using RADARSAT to map tillage and residue on agriculture fields. International Sinposium GEOMATIC IN THE ERA OF RADARSAT – GER'97, Ottawa, Canada. 9 p.

McNAIRN, H., BOISVERT, J.B. DUGUAY, C. HUFFMAN, E and BROWN, R. J. 1997. Investigating the relationship between crop residue cover and radar backscatter. International Sinposium GEOMATIC IN THE ERA OF RADARSAT – GER'97, Ottawa, Canada. 8 p.

NAGESWARA R. P. and RAO, V. R. 1987. Rice crop identification and area estimation using remotely sensed data from Indian cropping patterns. Int. J. of Remote Sensing, Vol. 8, No. 4.

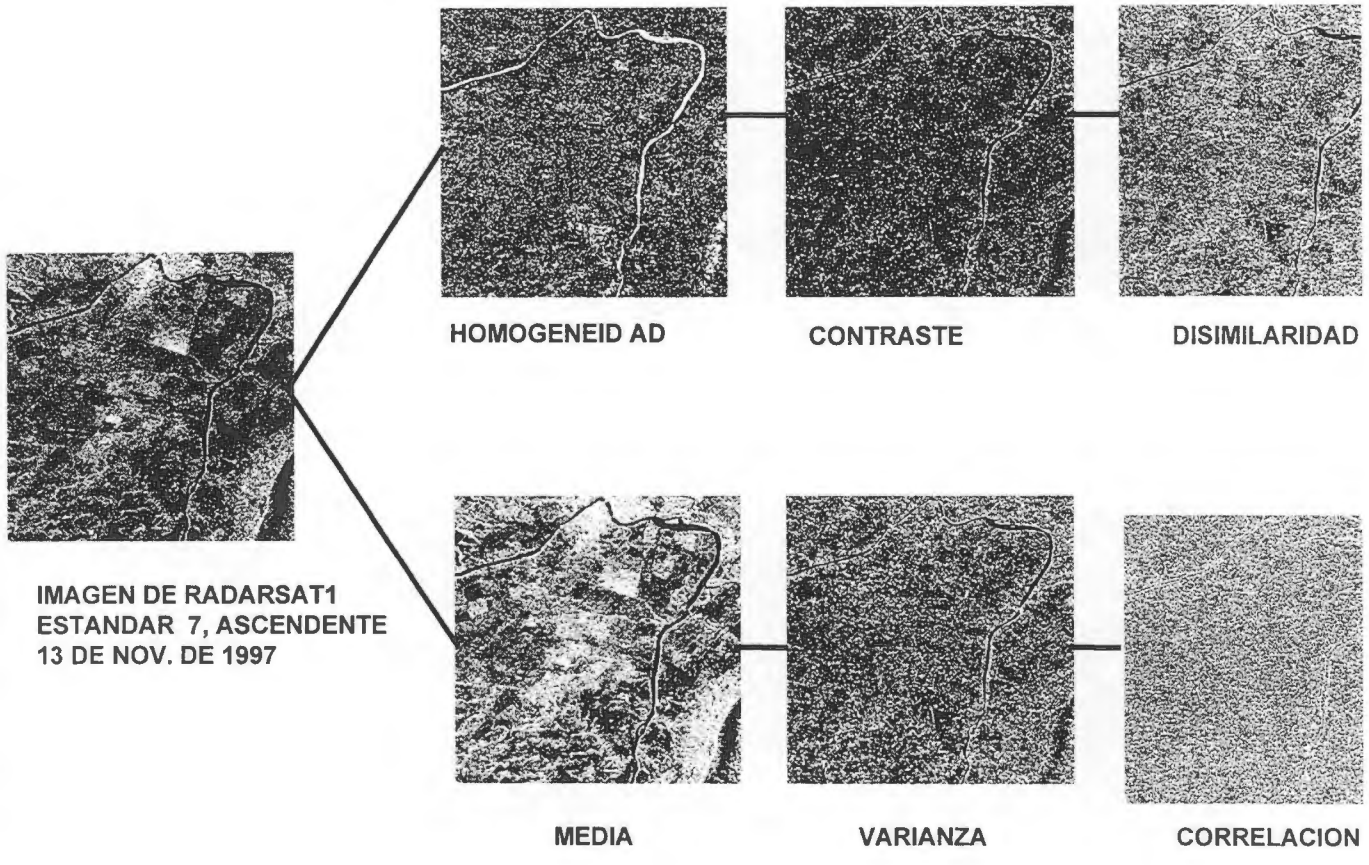
PCI, 1997. User Manual PCI Versión 6.2.

SWAIN P. AND DAVID, S 1978. Remote sensing: The quantitative approach. New York: McGraw Hill Book Company.

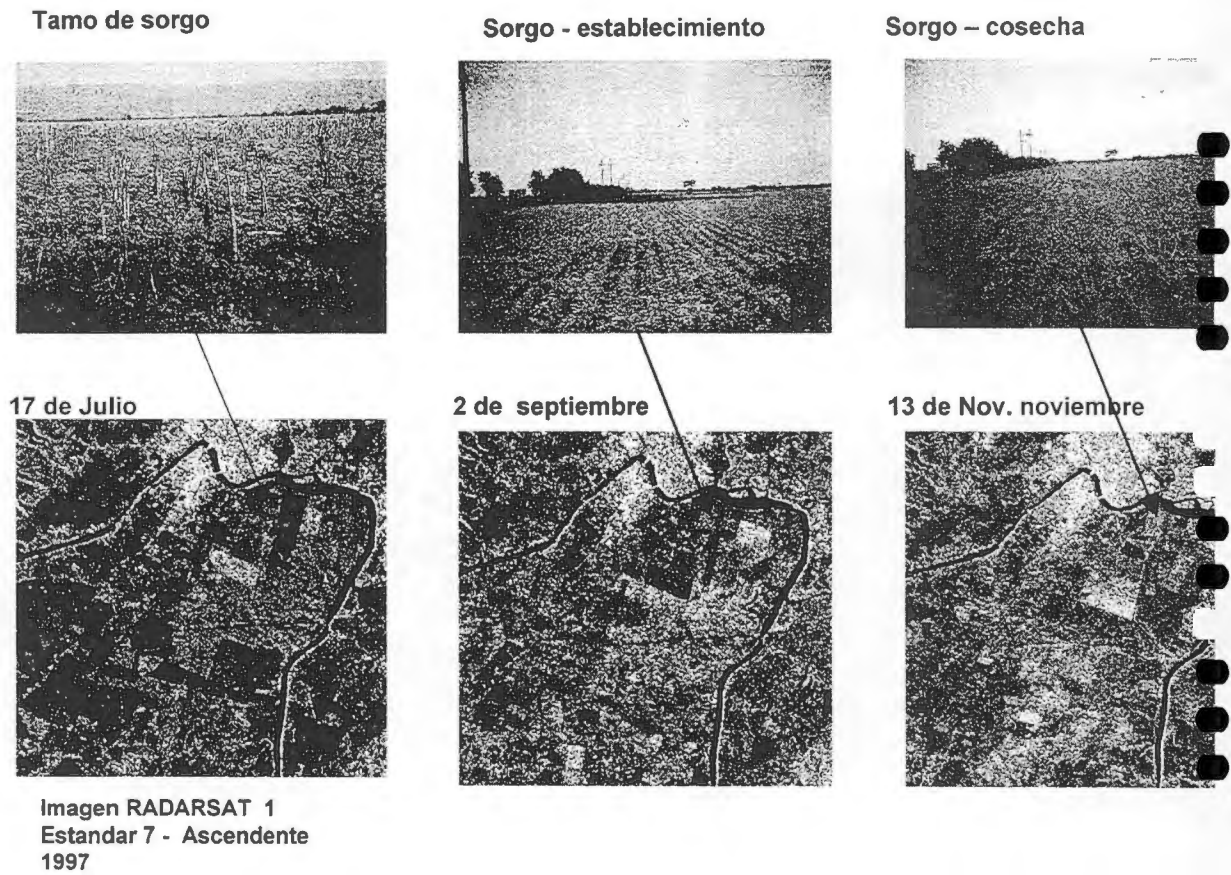
SIONNEAU, J. 1991. Diferenciación de cultivos en el Valle del Cauca a partir de imágenes SPOT. Proyecto Cobertura Vegetal: Reporte interno, Subdirección de Docencia e Investigación - IGAC. Abril 1991.

SRIDHAR V. N., et al., 1994. Wheat production forecasting for a predominantly unirrigated region in Madhya Pradesh (India). Int. J. of Remote Sensing, Vol. 15, No. 6.





**Figura 3.** Análisis visual del resultado de la aplicación de diferentes algoritmos texturales (PCI, 1997). Los seleccionados para utilizar en la clasificación supervisada fueron los de Homogeneidad y Media, ya que fueron los que presentaron el mejor resultado.

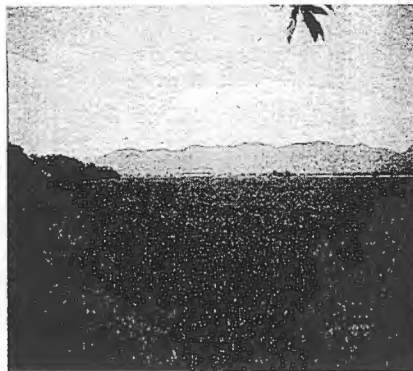


**Figura 4.** Patrones identificados para algunas de las etapas fenológicas del sorgo.

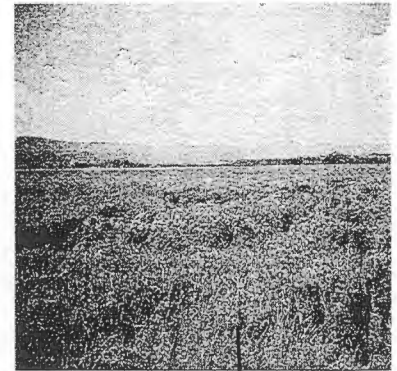
Suelo preparado



Arroz- establecimiento



Arroz - cosecha



17 de Julio



2 de septiembre



13 de noviembre

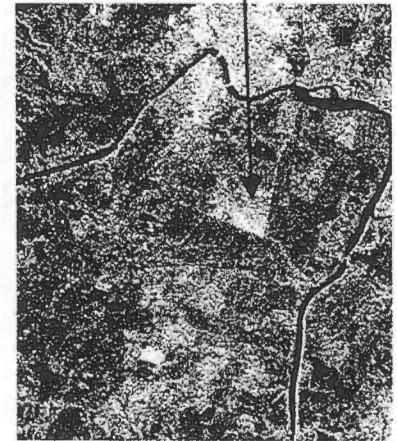


Imagen RADARSAT 1  
Estandar 7 -  
Ascendente

Figura 5. Patrones identificados para algunas de las etapas fenológicas del arroz.

**ARGENTINA PROYECTO #5**  
**APLICACIÓN DE IMÁGENES RADARSAT PARA LA**  
**EVALUACIÓN Y MONITOREO DE RECURSOS AGRÍCOLAS Y**  
**ÁREAS INUNDADAS**

**A. Lombardo\*, M. Presutti\*\*, P. Lusarreta\***

\*Dirección de Planeamiento - \*\*Dirección de Desarrollo Forestal  
Ministerio de Asuntos Agrarios de la Provincia de Buenos Aires  
Torre 1 - 12 y 51 - 5to. Piso. La Plata (1900). Buenos Aires. República Argentina  
TE (+54-21) 29-5353 Fax :(+54-21) 29-5339  
E-mail: amlombardo@yahoo.com

**ABSTRACT**

The principal aim of this project is the training in the analysis and interpretation of Radarsat image in interest themes relationed with the productive sector of Buenos Aires Province. Argentina.

Applications will be oriented to know and evaluate the agriculture resources. Likewise, other important application would be related with information of flooded areas in critical moments. Such situations of emergency or disaster caused by climate adverse conditions, represent a serious social and economic disruptions for Buenos Aires Province.

The study area is located in the South-East of Buenos Aires Province, where there are important crops (wheat, sunflower, corn, potatoe). Moreover, this is the principal forestry region in our Province.

The thematic results will be oriented to identify and monitoring water bodies, asses the usefulness of Radarsat images for land use, identification of agricultural and forest areas and fuse the information obtained from optical images.

The results would serve to carry out tasks of control and planning to regional level.

**Introducción**

Los profundos y constantes cambios ocurridos en las distintas áreas de la producción, y la necesidad de contar con información veraz que permita evaluar con la mayor exactitud y precisión el impacto de los distintos fenómenos de diversa índole que afectan a la misma, requieren de medios de análisis y medición que permitan el cumplimiento efectivo de estos objetivos.

En este contexto, el **Ministerio de Asuntos Agrarios de la Provincia de Buenos Aires**, se orienta al análisis e interpretación de datos obtenidos a partir de imágenes de satélite y a la posterior difusión de los resultados alcanzados, a fin de contribuir con información confiable y actualizada al desarrollo del sector agropecuario.

En otro aspecto, las posibilidades de evaluación se potencian a partir de la existencia, en este Ministerio, de la Base de Datos de la Emergencia Agropecuaria Provincial, conteniendo la misma información acumulada de los últimos diez años. Las imágenes radar permiten evaluar la situación existente referida a las diferentes áreas afectadas por procesos de inundación, a fin de determinar el impacto real del fenómeno dentro de la estructura productiva del sector y de la economía en general.

## Objetivo

El objetivo del proyecto presentado es el entrenamiento en el análisis e interpretación de imágenes Radarsat, para su aplicación en temas de interés del sector agropecuario de la Provincia de Buenos Aires.

Conforme a éste propósito, se evaluará la utilidad de las escenas radar en temas referidos al sector, tales como:

- Reconocimiento de áreas productivas (agricultura-ganadería). Posibilidad de discriminación de cultivos y monitoreo de cambios en los estados de crecimiento de los mismos.
- Relevamiento forestal.
- Identificación y monitoreo de cuerpos de agua en áreas inundadas-afectadas.
- Uso del suelo.
- Identificación de vías de comunicación y centros urbanos.

## Area de estudio

Se seleccionó el Sud-Este de la Provincia de Buenos Aires como área de estudio, considerando su importancia como zona agrícola y forestal. La misma comprende los partidos de Tres Arroyos, Benito Juárez, San Cayetano, Lobería y Necochea.

Los suelos presentes en la región poseen capacidad de uso agrícola, con escasa a nula pendiente, lo cual los torna aptos para diversos usos productivos. El cultivo de invierno predominante es el trigo, y entre los de verano se destacan el maíz, la papa y el girasol. En éstos últimos se practican siembras tempranas (octubre) y tardías (noviembre). Los cultivos rotan cada cuatro o cinco años con pasturas consociadas de gramíneas - leguminosas o verdeos (avena) para usos ganaderos.

En cuanto a la actividad forestal, la misma presenta niveles de crecimiento actuales y potenciales muy significativos. Lo anterior se refleja en una superficie forestada de aproximadamente 1.000 has en el año 1.997, que equivale al total plantado en los 10 años anteriores. Asimismo, se encuentra comprometida la forestación de 2.000 nuevas hectáreas para el año 1.998.

## Material empleado

Se solicitaron imágenes Radarsat con fechas de toma que coincidieran con la época de preparación del suelo/siembra del principal cultivo de invierno (trigo) y con el estado de madurez del mismo. Las escenas Radarsat empleadas son Wide2, órbita ascendente, con fecha **10 de Julio (FIG. 1)** y **7 de Noviembre de 1.997**. Cada una de las mismas abarca una superficie de 150 x 150 km.

En dichas fechas se verificó a campo la cobertura existente en diferentes lotes, mediante la ubicación de los mismos sobre planchetas del Instituto Geográfico Militar, en escala 1:50.000. Se confeccionó una planilla conteniendo información referida a cada lote: tipo de cultivo, altura, presencia o no de malezas, dirección del surco, etc.. Además, en cada lote se tomaron fotografías para su posterior cotejo con la imagen recibida.



Fig.1 Area del Partido de Lobería, Píeres, Sudeste de la Provincia de Buenos Aires, República Argentina. RADARSAT W2, Ascendente, 10 de Julio de 1997.

- 1- Suelo preparado para la siembra, arado y rastreado (laboreo convencional)
- 2- Siembra directa de verdes sobre rastrojo de trigo
- 3- Cortina de Eucalyptus globulus
- 4- Río Quequén.

#### Procesamiento digital

Se realizó la lectura de cada imagen, para luego grabar la información de las mismas en su correspondiente base de datos, previamente creada a tal efecto. Para ello se emplearon los módulos de procesamiento digital del programa PCI Versión 6.0.1 EASI/PACE. Seguidamente, se procedió a realizar el análisis cuantitativo de las imágenes mediante una secuencia metodológica, comenzando con la obtención del histograma de cada imagen de 16 bit U.



Para realizar la corrección radiométrica, debido a la falta de uniformidad de iluminación en rango de las escenas SAR, se aplicaron módulos específicos del programa PCI: SARINCD y SARSIGM. El primero de ellos calculó los ángulos de incidencia para cada valor de columna. Utilizando los distintos segmentos de información anteriormente obtenidos, con el módulo SARSIGM se obtuvieron las imágenes calibradas radiométricamente (sigma nought) de 32 bit. Luego se aplicó el programa MODEL para convertir los valores de retrodispersión de dB a amplitud y potencia para su posterior análisis y empleo.

Debido al gran espacio de disco que ocupaban las escenas completas se generaron subimágenes con cada fecha de toma (10 de julio y 7 de noviembre de 1.997) para la aplicación de los distintos algoritmos de procesamiento cuali-cuantitativo. Se probaron diferentes filtros en cada una de las subimágenes comparando los resultados obtenidos. En este caso el FEFROST (5x5) fue el que mostró el mejor comportamiento visual para la reducción del ruido, sin producir cambios en los bordes o formas presentes.

Se realizó análisis de textura, sobre las imágenes sin filtrar, con la aplicación del programa TEX. Los resultados se muestran en la Fig. 2.

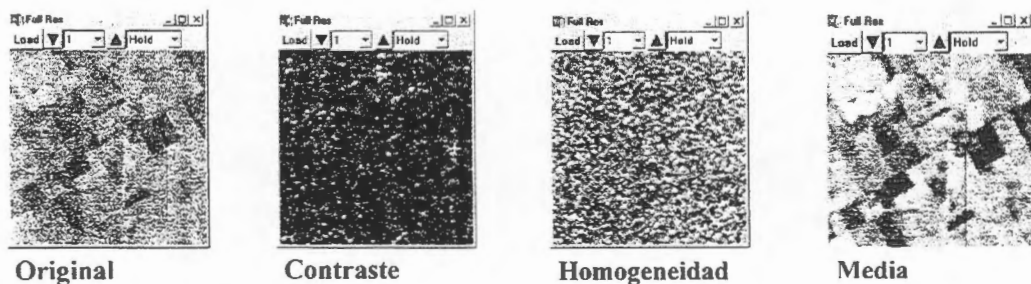


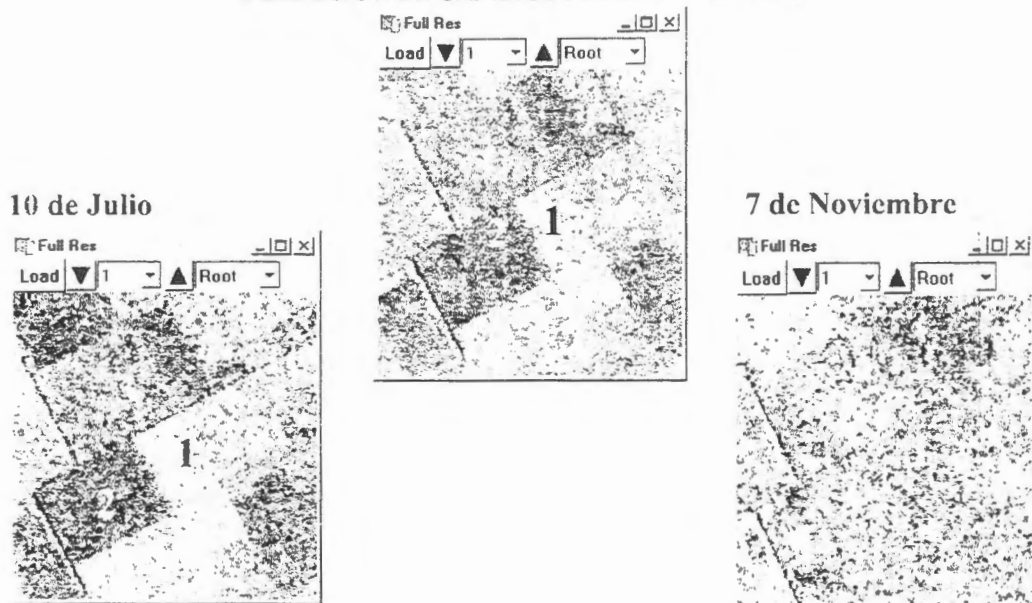
FIG. 2.- Análisis de textura

Mediante el empleo del programa GCP WORKS se tomó la imagen de Julio como referencia para registrar la imagen de Noviembre y poder llevar a cabo estudios multitemporales, que permitieran detectar cambios tanto en las áreas agrícolas como en la superficie ocupada por los cuerpos de agua.

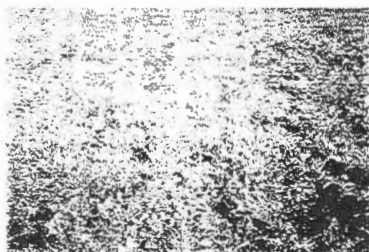
Se tomaron puntos de control que fueran fácilmente identificables en ambas imágenes, resultando esto más complicado en la fecha de Noviembre por presentar visualmente gran homogeneidad. El método de remuestreo empleado fue el del vecino más próximo.

Se detectaron visualmente los cambios ocurridos entre las dos fechas, aplicando el programa CHDET, asignándole como umbral (threshold) 3 para valores positivos y -2 para los valores negativos. Como resultado del proceso se generaron dos segmentos Bitmap, que pueden ser superpuestos posibilitando el análisis visual de los cambios ocurridos; pues se observan en color Rojo las áreas con cambios mayores de 3 dB y en Verde las que tienen menos de 2 dB de cambio.

DETECCION DE CAMBIOS JULIO/NOVIEMBRE



barbecho cubierto



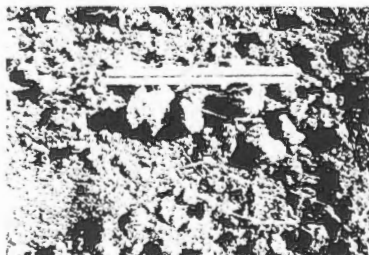
Lote 1

Raygrass (15 cm), siembra directa sobre rastrojo de trigo



Lote 2

arado



Lote 3

trigo



Raygrass (1 m)



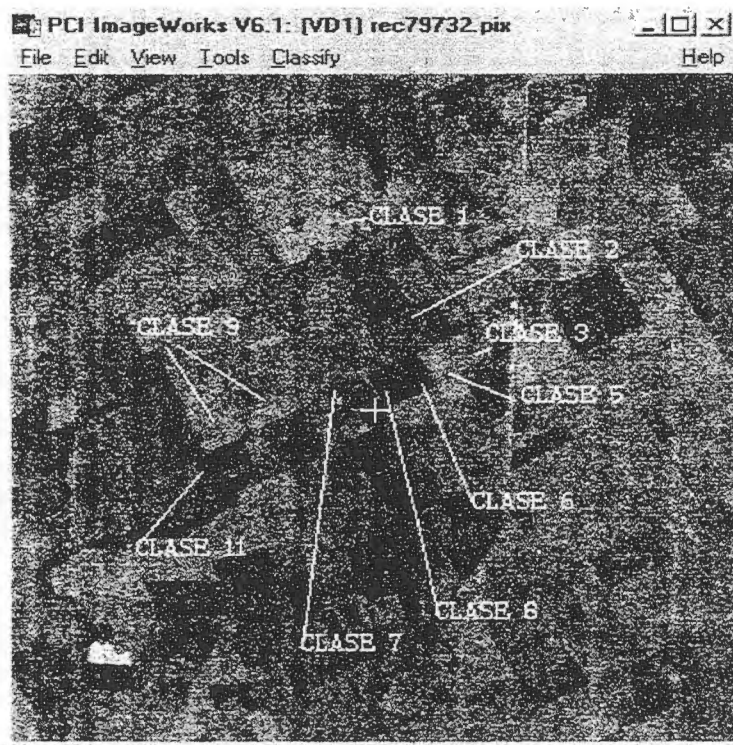
camellones con papa



FIG. 3.- Comparación del estado de cobertura del suelo de los lotes 1, 2 y 3 en Julio y Noviembre.

Además para la detección visual de cambios producidos entre las dos fechas se realizó una composición color asignando el canal rojo a la fecha de Noviembre, el azul a la fecha de Julio y el verde a la de Julio con filtro FEFROST, cuyo resultado se observa en la **Fig. 3**.

Se llevó a cabo una clasificación supervisada con la subimagen de Julio, teniendo en consideración la información recogida en cada lote durante el trabajo de campo. Previamente se escaló la imagen de 32 bit a 8 bit. Se emplearon dos canales: uno correspondiente a la imagen original en amplitud y otro correspondiente al resultado obtenido de la aplicación de textura promedio a la imagen original. Se tomaron training sets de los lotes más representativos, algunos cuyo tipo de cobertura fuera similar pero tuvieran diferencias de rugosidad o humedad y otros de cobertura diferente. Las clases obtenidas se identifican con un número y con el tipo de cobertura correspondiente **Fig.4**. Cabe destacar que los métodos de medición de la rugosidad y humedad son relativos.



- clase 1: rastrojo de papa
- clase 2: arado, poco húmedo, rugosidad intermedia
- clase 3: arado, húmedo, rugosidad media
- clase 5: barbecho cubierto
- clase 6: raygrass (15 cm de altura), siembra directa sobre rastrojo de trigo
- clase 7: arado, húmedo, rugoso
- clase 8: rastrojo de trigo
- clase 9: arado, húmedo, rugosidad intermedia
- clase 11: arado, poco húmedo, textura suave

**Fig.4:** Clases utilizadas para la realización de la clasificación supervisada.

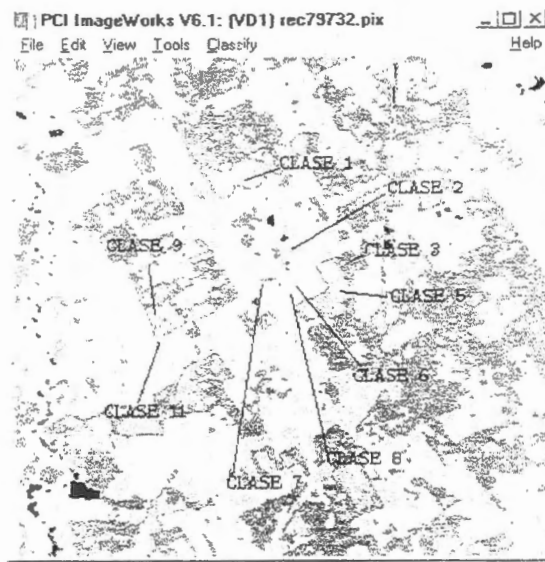


Fig.5: Resultado de la clasificación supervisada

Si bien la técnica de clasificación empleada sigue siendo motivo de análisis, se muestra a continuación el resultado de la matriz de confusión (Cuadro 1):

CONFUSION MATRIX

Areas		Percent Pixels Classified by Code									
Name	Code	Pixels	0	1	2	3	4	5	6	8	9
CLASS001	1	151	0.00	67.55	15.89	0.00	0.00	0.00	1.32	0.00	15.23
CLASS005	2	701	0.00	40.59	33.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.74
CLASS006	3	89	0.00	0.00	0.00	40.45	35.96	0.00	0.00	0.00	0.00
CLASS008	4	71	0.00	0.00	0.00	23.94	74.65	0.00	0.00	0.00	0.00
CLASS002	5	317	0.00	0.00	0.00	0.00	4.10	85.17	0.00	10.73	0.00
CLASS003	6	147	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	83.67	4.76	10.88
CLASS007	8	173	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.25	2.89	87.86	0.00
CLASS009	9	192	0.00	19.79	1.56	0.00	0.00	0.00	9.38	0.00	69.27
CLASS011	11	125	0.80	0.00	0.00	14.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Name	Code	Pixels	%Image	Thres	Bias	Name	Code	Pixels	11
CLASS001	1	2478	1.64	3.00	1.00	CLASS001	1	1510.00	
CLASS002	5	26488	17.52	3.00	1.00	CLASS005	2	1010.00	
CLASS003	6	45898	30.36	3.00	1.00	CLASS006	3	8923.60	
CLASS005	2	783	0.52	3.00	1.00	CLASS008	4	711.41	
CLASS006	3	5139	3.40	3.00	1.00	CLASS002	5	3170.00	
CLASS007	8	36205	23.95	3.00	1.00	CLASS003	6	1470.00	
CLASS008	4	15194	10.05	3.00	1.00	CLASS007	8	1736.00	
CLASS009	9	11296	7.47	3.00	1.00	CLASS009	9	1920.00	
CLASS011	11	4812	3.18	3.00	1.00	CLASS011	11	12584.80	
NULL	0	2907	1.92						
Total		151200	100.00						

Average accuracy = 69.68 %

Overall accuracy = 73.87 %

KAPPA COEFFICIENT = 0.69886 Standard Deviation = 0.01347

## **Conclusiones**

Hasta el momento se procedió a la tarea de entrenamiento y familiarización con el software de procesamiento digital y el empleo de la información provista por las escenas radar. Motivo de lo expresado, las conclusiones arribadas hasta el presente son de carácter parcial. Entre las dificultades que se presentaron durante el procesamiento de las imágenes estuvo el gran requerimiento de espacio en disco para la realización de los distintos procesos digitales. Así también el análisis, discriminación y comparación de las distintas coberturas agrícolas resultó dificultoso al existir parámetros variables de textura y humedad, cuyos sistemas de medición fueron relativos. En el caso de las muestras de humedad de suelo tomadas en los lotes visitados a campo, el mismo día de toma de la imagen, se observó que a medida que avanzaba el transcurso del día no eran comparables entre sí debido a la desecación ocurrida por efectos de la radiación solar. Esto presenta inconvenientes para la discriminación de coberturas agrícolas a nivel regional, como para poder realizar estimaciones de áreas sembradas de los distintos cultivos.

Con las dos fechas de escenas con que se dispone, al intentar analizar visualmente los cambios producidos en la cobertura del suelo mediante la utilización del programa para detección de cambios, se observó que hubo variaciones en la retrodispersión en algunos lotes aunque no se pudo discriminar si esa variación fue debida a cambios en el estado de un mismo cultivo o a un cultivo diferente. Sí aporta información de los cambios ocurridos cuando se analizan cuerpos de agua o áreas inundadas.

Se seguirá avanzado en el análisis y procesamiento digital para arribar a conclusiones definitivas. Se prevé fusionar la información de microondas con imágenes de sistemas ópticos.

## **Agradecimientos**

Se quiere dejar expresado el agradecimiento por la colaboración prestada en diferentes oportunidades a Héctor Eandy, Mario Tellechea y Diego Galliani, integrantes del Area de Promoción Técnica del Ministerio de Asuntos Agrarios de la Provincia de Buenos Aires.

# Analysis of Multitemporal Radarsat Data for Agriculture Monitoring

## Project Brazil#22

**J. C. N. Epiphany; M. S. Simões; A. R. Formaggio**

National Institute for Space Research (INPE)

Av. dos Astronautas, 1758; 12.227-010

São José dos Campos, SP; Brazil

{epiphani, simoes, formag}@ltid.inpe.br

tel. +55-12-345-6505 fax. +55-12-345-6460

### ABSTRACT

This paper presents the first results of the Globesar-2 Project #22. The main objectives of this project is to analyze Radarsat data for agriculture purposes in Brazil. The test site is characterized by a highly cultivated area, including some of the main crops, such as sugarcane, corn, cotton, tomato, and pastures. In this phase it was performed a multitemporal analysis of four images (three in F4 mode and one in SD7 mode). The satellite acquisition was concomitant with an detailed field work. It was generated a  $\sigma^{\circ}$  image for each date. Then it was made a color composition image of the three F4 dates. Based on these data it is performed a discussion on the main aspects of the interactions between radar signal and some surface conditions, such as soil roughness, topography and tillage row directions.

### Introduction

For continental countries like Brazil, the use of satellite data for crop monitoring is one of the main streams of the remote sensing in agriculture. However, crop monitoring by orbital imagery in tropical countries is hampered by high incidence of cloud cover during the main part of the summer crops growing season. This season responds for about 80% of the national grain production. Thus, the possibility of using radar data opens a fundamental potentiality for obtaining agricultural statistics by remote sensing.

There are some main factors that contributes to the backscattering coefficient of radar signal. In an agricultural field, there are three main contributions for the canopy scattering: vegetation volume ( $\sigma^{\circ}_v$ ), direct soil surface scattering ( $\sigma^{\circ}_s$ ), and that scattering coming from the interactions between the soil and the vegetation ( $\sigma^{\circ}_{sv}$ ) (NASA, w.n.d.). However, these contributions are modulated by incidence angle, woody and foliar biomass, and the properties of the soil at the time of the measurements.

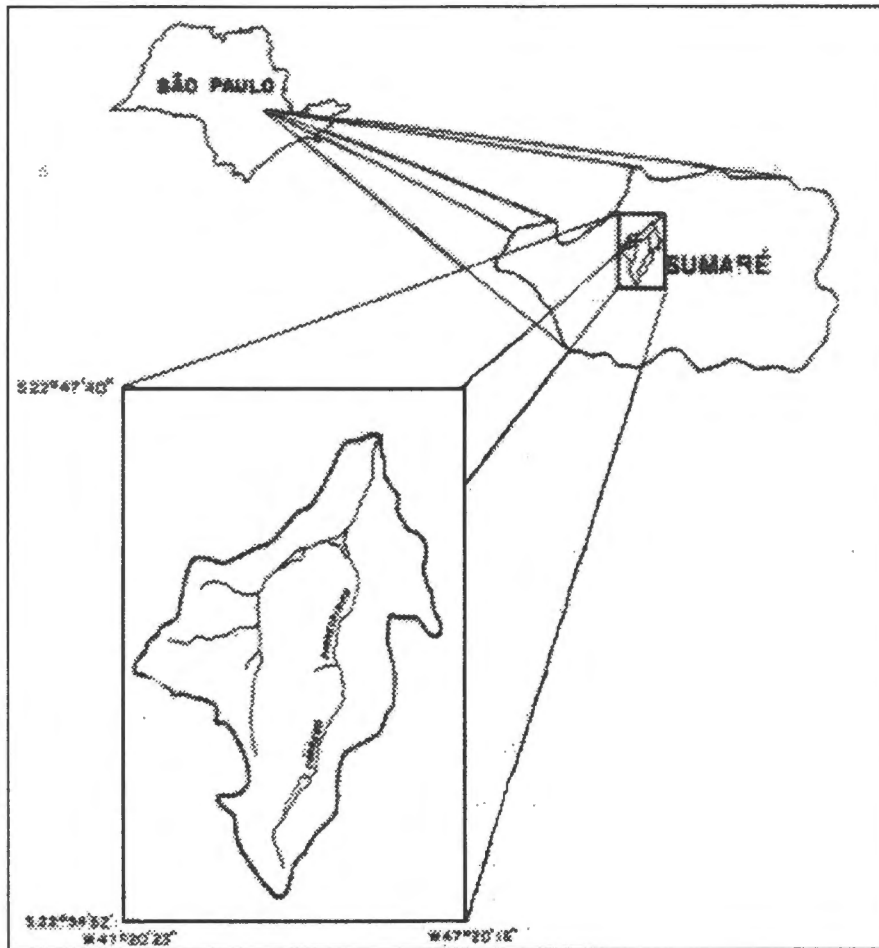
One of the main interest in agriculture is the crop type classification. Such kind of information is vital for outlining crop policies at various governmental levels. Hogeboom (1983) used an airborne X-band real aperture radar over a test site with 182 fields with seven crop types in the Netherlands. By using a multirate single-polarization (HH) image it was achieved a correct classification accuracy of 88 percent. It should be mentioned that the sensitivity of radar data to crop parameters (e.g. LAI) is very dependent on crop type. For instance, Ulaby et al. (1984) showed that the  $\sigma^{\circ}$  was sensitive to increments of the LAI until LAI = 2, for corn and sorghum. However, for wheat, the  $\sigma^{\circ}$  was sensitive until LAI = higher than 5. In order to discriminate different crops in a region, Brisco et al. (1989) point out that the knowledge of the crop calendar is very helpful.

The objectives of this paper are twofold: (a) to evaluate the multitemporal technique for the Radarsat images and their potential for crop discrimination and monitoring; (b) to look for meanings for the relationships between radar signal and agronomic indicators of crop conditions (e.g., crop type and characteristics, row spacing, height, crop phenological stages/dynamics over the time).

### Test Site

The test site is in Sumaré-SP, Brazil (S22°50'30" and W47°18'20") (Figure 1), and it is characterized by being highly cultivated with sugarcane, corn, potato, cotton, tomato, bean and pasture. There are also other types of targets such as urban areas, lakes, and natural vegetation. For each Radarsat coverage, it was performed a field data collection (agronomic variables, limits of the sites, height, percentage of ground cover, photo-documentation, roughness, etc.) over approximately 150 fields. The limits of these sites plus roads and drainage network were input into a GIS. This base map was registered with the satellite data. This procedure is planned to be applied for each date, and avoids changes in the radiometry of the radar data.





**Figure 1** – Test site at Sumaré, SP, Brazil. The Pinheirinho watershed is shown in the detail.

### Methods

The choice of a multitemporal approach for crop monitoring is a good procedure for crop identification and monitoring. In addition, a good field control, mainly for microwave imagery, is necessary for understanding the interactions between the satellite data and the field conditions. In order to do that, it was planned four acquisitions of Radarsat data: the first one was a Standard Mode (S7) with shallow (45°) incidence angle, acquired in June 3rd, 1997, before the main crop season. This image was acquired in order to observe the fields in fallow or tillage conditions and to discriminate the perennial and semi-perennial crops. The next three acquisitions were planned to cover the full crop growing season, in Fine Mode F4 (42° incidence angle; Jan 5<sup>th</sup>, February 22<sup>nd</sup>, and March 20<sup>th</sup>, 1998), covering crops from their first stages to mature stages.

The images were processed using the PCI software. The main procedure was the generation of a  $\sigma^0$  image for each date obtained in Fine F4 mode. The  $\sigma^0$  image takes into consideration the satellite calibration parameters and other factors. These images were registered taking the 05Jan98 image as reference. Then a color composite was done using these three dates. Based on this composite image, and with the availability of a database with field data it is possible to make an evaluation of the evolution of the field crops through their cycles and their behavior in Radarsat multitemporal images.

### First Results

Table 1 shows a piece of the database generated for this project. Actually, there is more than 150 fields with field description.

**Table 1 – Part of the database with data of the field work.**

Field#	Jan. 05, 1998	Feb. 22, 1998	Mar. 18, 1998
1	Cotton – flowering	Cotton – balls (0.8 m high)	Cotton-mature (1.0 m high)
2	Corn - grain filling	Dry corn (2.0 m high)	Dry corn (2.5 m high)
3	Sugarcane – vegetative	Sugarcane - vegetative (1.5 m high)	Sugarcane - vegetative (2.5 m high)
4	Corn – vegetative	Corn - mature	Dry corn (2.5 m high)
5	Bare soil	Bare soil	Tomato (0.2 m high)/ bare soil
6	Sugarcane (1.5 m high)	Sugarcane (2.0 m high)	Sugarcane (2.5 m high)
7	Sugarcane 2 <sup>nd</sup> cut (1.0 m high)	Sugarcane (2.0 m high)	Sugarcane (2.5 m high)
8	Fallow	Fallow	Bare soil
9	Bare soil	Corn (0.4 m high)	Bare soil
10	Corn - grain filling (2.5 m high)	Bare soil	Bare soil
11	Corn vegetative (1.0 m high)	Corn mature (2.5 m high)	Dry corn (2.5 m high)
12	Corn grain filling (2.0 m high)	Dry corn (2.5 m high)	Dry corn (2.5 m high)
13	Sugarcane 2 <sup>nd</sup> cut (2.0 m high)	Sugarcane (2.5 m high)	Sugarcane (3.0 m high)
14	Corn	Corn	Corn
15	Sugarcane – vegetative (1.5 m high)	Sugarcane – vegetative (2.5 m high)	Sugarcane vegetative (3.0 m high)
16	Pasture	Pasture	Pasture
17	Corn- grain filling	Corn - grain filling	Corn – mature
18	Corn flowering	Corn mature	Dry corn
19	Pasture	Pasture	Pasture
20	Fallow summer	Bare soil	Bare soil / sugarcane low
21	Bare soil	Tomato (0.1 m high)	Tomato (0.3 m high)
22	Bare soil	Tomato (0.1 m high)	Tomato (0.3 m high)
23	Bare soil for tomato	Tomato (very low)	Tomato (0.2 m high)
24	Bare soil	Tomato (very low)	Tomato (0.2 m high)
25	Corn - vegetative	Dry corn	Bare soil

When analyzing the  $\sigma^0$  color composite image (Figure 2), it seems that the threshold for color contribution in the composition is around  $-14$  dB. If we look the color composite RGB (e.g. field #21) it can be seen that dB in the three dates (Jan./Feb./Mar.) are  $-20.7971$ ,  $-14.8616$ , and  $-12.2693$ , respectively. As in the first two dates the dB values are low, thus the dark blue predominates, because in this last date the dB value is  $-12.2693$ . Other examples can be found, e.g. field #22, in which the mean January dB (red in the color composite image) is lower than  $-14$ , thus little contribution to the color composition. The other two dates (Feb. and Mar.) predominates, thus resulting in cyan tone.

With respect to the roughness, there is a very interesting case to be discussed. The subfields #23 and #24 belongs to the same field planted with tomato. The roughness in the tomato areas are strong (mean

height between the bottom and the top of the tillage was around 0.30 m). In addition, the tillage direction was perpendicular to the Radarsat beam, as well as the slope. This kind of roughness and field to satellite geometry promotes a high backscattering signal. However the field #24 was not tilled in January. On the other side, the field #23 was tilled in Jan., Feb. and March. These differences in temporal practices generated high signals for the field #23 in the three dates, and high signals for the field #24 in February and in March. This generated a cyan pattern (February/green plus March/blue contribution) for the field #24, and a pale magenta pattern for the field #23.

The similar discussion as in step 2 on interaction of roughness and slope for backscattering on Radarsat can be done for the field #22. However, in this field #22 the slope is in the same direction (shadowish area) of the radar beam, and the tillage is not really perpendicular to the radar incidence beam. These geometry effects caused the  $\sigma^0$  not be so high as in the fields # 22 and 23. In addition, in the first date (January) the soil was without deep furrows, which are tailored for tomato. All this effects caused the color for this field to be cyan.

Targets that had low backscattering in the three dates presented dark colors. Targets with high backscattering in the three dates presented light colors in the color composite. On the contrary, targets with low backscattering and that changed a little in the three dates presented dark colors. However, there is a modulation in color caused by subtle changes in the backscattering in some date.

The analysis done in a single date allows to observe some limits among fields. However, fields with similar backscattering are difficult to be distinguished from their adjacencies. However, when one has a color composite, there is a stretch of the discrimination among fields. For instance, the fields #8 and 7 can be distinguished in in the March image but not in the January image. On the opposite, fields #23 and 24 could be distinguished in January, but not in March. In the color composite, these fields were very distinguishable. In terms of analysis for agriculture, the multitemporal color is a valuable product.

The production of the  $\sigma^0$  image allowed to have the absolute value of dB of each field. This kind of information allowed an analysis of quantitative values of backscattering. In some cases, e.g. the fields #23 and 24, it was possible to delineate the field conditions responsible for those specific values. This is important when one wants to understand the physical mechanism of interactions between radar signal and the targets.

### **Concluding Remarks**

The application of optical remote sensing to monitor summer crops, as in this case, would be very difficult because of the cloud cover. However, as the analysis were performed using radar data, there was a confidence that the data would be available, as it did. The satellite Radarsat data were available very fast, and this was a valuable factor for analysis of these data.

The generation of the  $\sigma^0$  images allowed the numerical analysis of physical aspects of the interactions between radar signal and some physical (topography and roughness) aspects of the terrain. For instance, it was possible to verify the strong influence of the roughness, the roughness coupled to topography, and roughness coupled to row directions of some fields on the Radarsat signal.

The availability of field data collected coupled with satellite acquisition allowed the generation of a database useful for the data interpretation.

The generation of a multitemporal  $\sigma^0$  Radarsat composition of three dates were very useful for fields discrimination. However, a deeply analysis is necessary for a better understanding of the meaning of some radar patterns.

### **References**

- Brisco, B.; Brown, R.J.; Manore, M.J. Early season crop discrimination with combined SAR and TM data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 15:44-54, 1989.
- Hoogeboom, P. Classification of agricultural crops in radar images. *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, GE-21, 329, 1983.
- NASA SAR Synthetic Aperture Radar – Earth Observing System. Instrument panel report. Amherst, Massachusetts. 233p.
- Ulaby, F.T.; Allen, C.T.; Eger, G. Kanemasu, E. Relating microwave backscattering coefficient to leaf area index. *Remote Sensing of Environment*, 14:113-133, 1984.

RSAT-1 BEAM F4 Desc.



JAN 5 (R), FEB 22 (G), MAR 18 (G) 1998

Figure 2 – Multitemporal color composite of three dates sigma night F4 images.

# **FLOOD EXTENT MAPPING WITH RADARSAT DATA.** **A STUDY CASE IN NORTHEASTERN ARGENTINA.**

**M. Giraut (\*), R. Aguglino (\*\*) and S. Ludueña (\*)**

\* Dirección Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos - MEyOSP.  
Hipólito Yrigoyen N°250 Piso 11. Of 1109. C.P. 1310 Buenos Aires - Argentina  
e-mail: mgirau@meyosp.mecon.ar

\*\* Dirección de Aplicación de Imágenes Satelitarias - MOSP.  
Av. 7 N° 1267 Piso 2. La Plata CP. 1900. Buenos Aires - Argentina  
e-mail: capdis@isis.unlp.edu.ar

## **ABSTRACT**

Related to *GLOBESAR 2 PROJECT*, is being investigated and qualified the powerful of *RADARSAT* data in the field of flood extent mapping, especially in flat areas landscape.

GlobeSar 2 is planned as a 2-year project involving Canadian organizations (CCRS, CIDA and IDRC) and several institutions in each participating country, and is being developed to prepare users to use Radarsat data.

Radarsat is an earth observation satellite launched on November 1995 by the Canadian Space Agency. Spatial resolution of the imagery ranges from 3 to 100 meters per pixel and the ground coverage repeat interval is 24 days. Radar signals penetrates clouds cover thus accessing areas not available to other remote sensing systems. In contrast to the remotely sensed imagery, the returned radar signal is more affected by electrical and physical (primarily textural) characteristics in the target than by its reflection and spectral pattern, therefore require special interpretation and spatial georegistration techniques.

Central and South America countries were invited to participate through host-country institutions and governments to present specific programs related to management and environmental monitoring. Consequently, Argentina and flooding thematic events, were included in the GlobeSar 2 Project.

To carry out this research proposal an area, where floods occur periodically and important cities are located, was selected along the Parana river in Argentina's territory.

Radarsat and Landsat Images besides hydrological information were selected to fulfill the requirements of the investigation. Specific radar image processing software (PCI and EarthView) were utilized to analyze the raw data. The Radarsat imagery and both software were provided free of cost under Globesar 2 Project.

As the project deadline is scheduled to the end of 1998, this report reveals some preliminary results that has to be compared and evaluated with new Radarsat data that will be acquire during the present year.

The study is being developed at the ex Dirección Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos\* del Ministerio de Economía y Obras y Servicios Públicos, Argentina, and at the Dirección de Aplicación de Imágenes Satelitarias del Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires.

---

\* Actually Subsecretaría de Recursos Hídricos, Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable. San Martín 459 C.P. 1004. Buenos Aires - Argentina.



## I. Introduction

The Parana river is one of the biggest of the world after the Amazons and Mississippi rivers taking in account it's wide and discharge values. The basin is developed in an important portion of Brazil, Argentina, Bolivia and the totally of Paraguay countries. Fig. 1.

Important tributaries such as Paraguay, Iguazu, Pilcomayo, Bermejo, and Juramento Salado, thus it's main collector the Parana river, conformed the important fluvial river network in Argentina's territory.

Flood hazard mapping along the Parana river basin have been investigated in Argentina for a long time due to location of main cities and agricultural settlements.

A large number of hydrological stations made possible the daily forecast along the Parana river and tributaries which periodically produced flooding along their shores. Although water level and discharge values have been registered during these periods, few of them were analyzed with remote sensing techniques due to the presence of clouds.

Due to the size and complexity of the Parana river basin, a pilot area has been selected where flood phenomena could be analyzed, Fig. 1.

Down stream Confluencia (place where the Paraguay and Parana rivers mixed their waters), the river changes the strike from E-W to practically N-S, and the Parana is described as characteristic flatness river, with several kind of sand banks and Islands, all along the valley presenting a meandering pattern.

The right shore is low with a lot of bodies of water (marshes, swamps) that could remain under water during flood periods in a range of 10 to 40 km. The left shore is higher, with a difference in altitude of 6 meters, between them. Close to it, is reclined the master channel (utilize for shipping activates) with disseminate sand deposits that could be entirely flooded during high water levels periods.

Two Important cites are located on both shores, called Corrientes (left side) and Resistencia (right side), corresponding to Corrientes and Chaco main city provinces.

The region delimited corresponds to the alluvial plain of the Parana river which is principally localize on the Chaco province on the right shore of the river, which has it main development south Confluencia area. The limits of the valley are represented by the, Pleistocene terrace (occidental) and the correntina plain (oriental)

The Chaco is flat and poorly drained. During the summer, the rains cause rapid and extensive flooding, all along the swampy area. It's effective precipitation is greatly reduced by evaporation.

## II. Goals

The primary aims to cover within the present research contemplate :

- a. the use of radar satellite images to map flood extent, and
- b. the training in active systems technology.

The preliminary study is based on Radarsat imagery (high water level) and Thematic Mapper images (low water level) which have been selected taking in account the hydrological values registered on the river gauging station. The main task to go over is to characterize the geographical distribution of the Parana river along it's shores related with the water level daily registered. This involve the generation of water cover surface maps using remote sensing data, calculate their areas under water, and find the relationship with the water level registered.

The present study follows a typical digital image processing project using SAR data, including the basic steps of *Image Restoration, Enhancement and Classification*, Fig. 2. The primary concern in



monitoring flooding is to obtain pre-flood and flood condition data to evaluate the event. Historically, user of remote sensing data needs to investigate whether there was a cloud free scene available, with the introduction of the imaging radar data cloud cover have been overcome, but the wind occurrence plays an important limitant to be considered due to the radiometric variations produced, as it is showed in this paper.

### **III. Data Selection & Software**

#### **III.a. Radarsat -1 Image**

Acquisition date: march 06, 1997. - Water Level = 6.25 m  
Standard Beam mode1 - Pass Ascending  
N° Pixels = 9088, N° Lines = 8342

#### **III.b. Landsat - Thematic Mapper Image**

Acquisition date: January 01, 1994. - Water Level = 3.68 m  
N° Bands : 6  
N° Pixels = 7641, N° Lines = 7157

A sub-image was defined to focus the research along the river shores, with a size of 1801 pixels and 1501 lines.

#### **III.c. Hydrological variables**

The water level values registered at Corrientes gauging station were supplied by the Instituto Nacional de Agua y del Ambiente, INA. Fig. 3.

#### **III.d. Software**

EarthView 4.4.1 and PCI V6.1, Synthetic Aperture Radar (SAR) image processing systems running under Windows 95 platform, were the basic software utilized for manage and analysis of data.

The Radarsat imagery and both software were provided free of cost under Globesar 2 Project. The Landsat TM was given by Administracion Provincial del Agua de la Provincia del Chaco.

### **IV. Digital Image Processing**

As it has been previously commented two software were utilized. Although Earthview software was utilized during the first steps of the study we'll focus the present report related to PCI modules and we reserve our evaluation for the Final Document.

The main steps carried out during the research correspond mainly to: *Image Restoration and Enhancement*; the *Classification Procedure*, although it has been tested, the outputs achieved did not agree with the expected results. The presence of wind over some sectors of the river course modified the radiometric response of their pixels values, diffculting the spectral extraction and classification of the whole river's body as an unique entity.

As the project deadline is scheduled to the end of 1998, some alternative techniques will be implemented in order to avoid, if possible, the wind perturbation.

#### **IV.a. Image Restoration/Calibration**

Originally, the RADARSAT data is 16-bit unsigned image type, afterwards, during the calibration step and when the backscatter image ( $\sigma_0$ ) is produced, it is transformed to 32-bit real format.  $\sigma_0$  image was utilized to calculate the amplitude image, according to the following algorithm:

$$A = 10 \log_{10} \sigma_0 \text{ db/20}$$

Once the amplitude image was obtained, a subset image was defined closer to the river's body. Although the 32-bit real format needs a great amount of disk space, it was maintained until all the procedures were accomplished.

#### **IV.b. Image Enhancement**

Image enhancement concerned with the modification of images to make them more suited to the capabilities of human vision. Imagery produced by radar sensor are "noisy" in appearance than pictures from optical sensors. This noise or *speckle* difficult the visual interpretation of the imagery. *Filtering* is a spatial operation that alters pixel values (enhancement)

Many spatial filters were implemented to the amplitude image in order to reduce the speckle and make the data more interpretable. For our understanding, the *Enhanced Frost* filter produced the best approach in water - land demarcation, Fig. 4.

#### **IV.c. Geometric Corrections**

The digital images, whether obtained from optical or radar sensors, contain geometric distortions which make them unusable as maps. To be useful, the image should conform to any accepted projection: *geocoding* is the process of transforming imagery to remove geometric distortions and being corrected (PCI, 1996).

Twenty two control points were selected from the TM image for reference the radar data (Amplitude, FeFrost and Gamma Map)\* and as a corrected database on UTM projection. The number of control points allowed a third order polynomial type correction. With an accurate RMS, the registration (resampling) of the radar image was performed using the *Nearest Neighbour method*, which made a good radar-TM image fit, without modification in the pixels grey scale, besides it's reduce processing time (PCI, 1996).

#### **IV.d. Image Classification**

Image classification refers to computer-assisted interpretation of remotely sensed images. As it has been previously commented, although the classification routines were tested none results are presented.

#### **V. Vector Segment Generation**

TM image was also utilized to digitize and obtain the river boundaries (low water level), main and secondary routes, railways, airports and drainage channel vectors, Fig. 4.

#### **VI. End Notes**

The research results fulfill the planned goals related with flood extent mapping and, specially, with the training in active systems technology. We expect to obtain even better results by the end of the Globesar 2 Project. The authors wish like to thank to National and International Institutions that make this research possible.

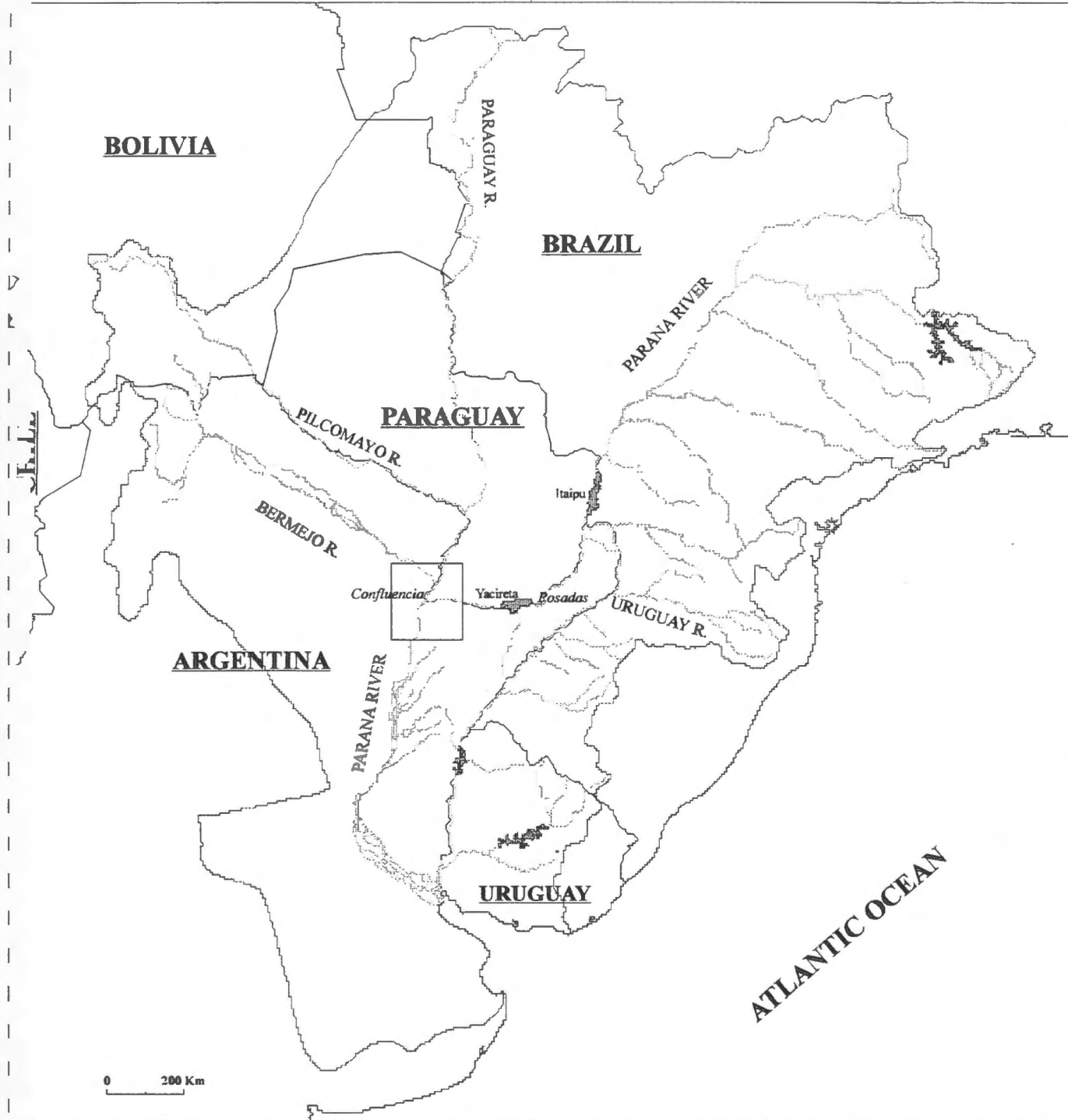
#### **VII. References**

- Geomatic International Inc. 1997. Radarsat Distance Learning Program
- Giraut M, Aguglino R., 1997. Flood hazard mapping in del Plata watershed and it's incorporation to the National Hydrological Warning & Forecast System. GER'97 Ottawa, Canada.
- INA, 1997. Sistema de Alerta Hidrológico de la Cuenca del Plata.
- PCI V 6.1, 1996. Easi-Pace, Image Works, and GCP Works Software Manuals .

---

\* Due to the paper size restrictions, one figure is presented.

## **DEL PLATA BASIN**

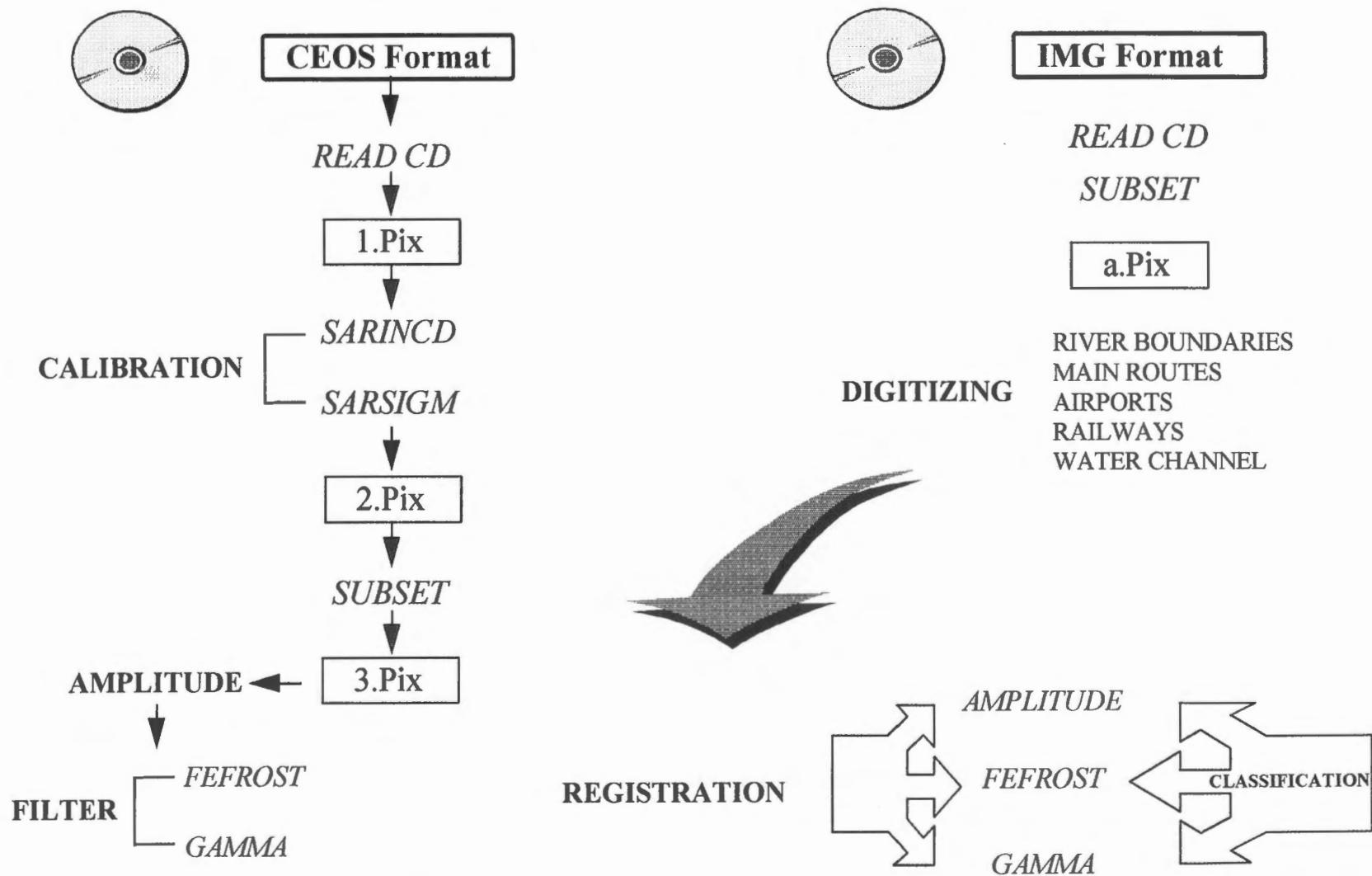


*FLOOD EXTENT MAPPING WITH RADARSAT DATA. A STUDY CASE IN NORTHEASTERN ARGENTINA. Giraut, Aguglino & Luqueña, 1998.*

**Fig. 1**

# LOBESAR 2 PROJECT

*“Aplicaciones de RADARSAT en América Latina”, Cartagena, Colombia, 20-24 April 1998*

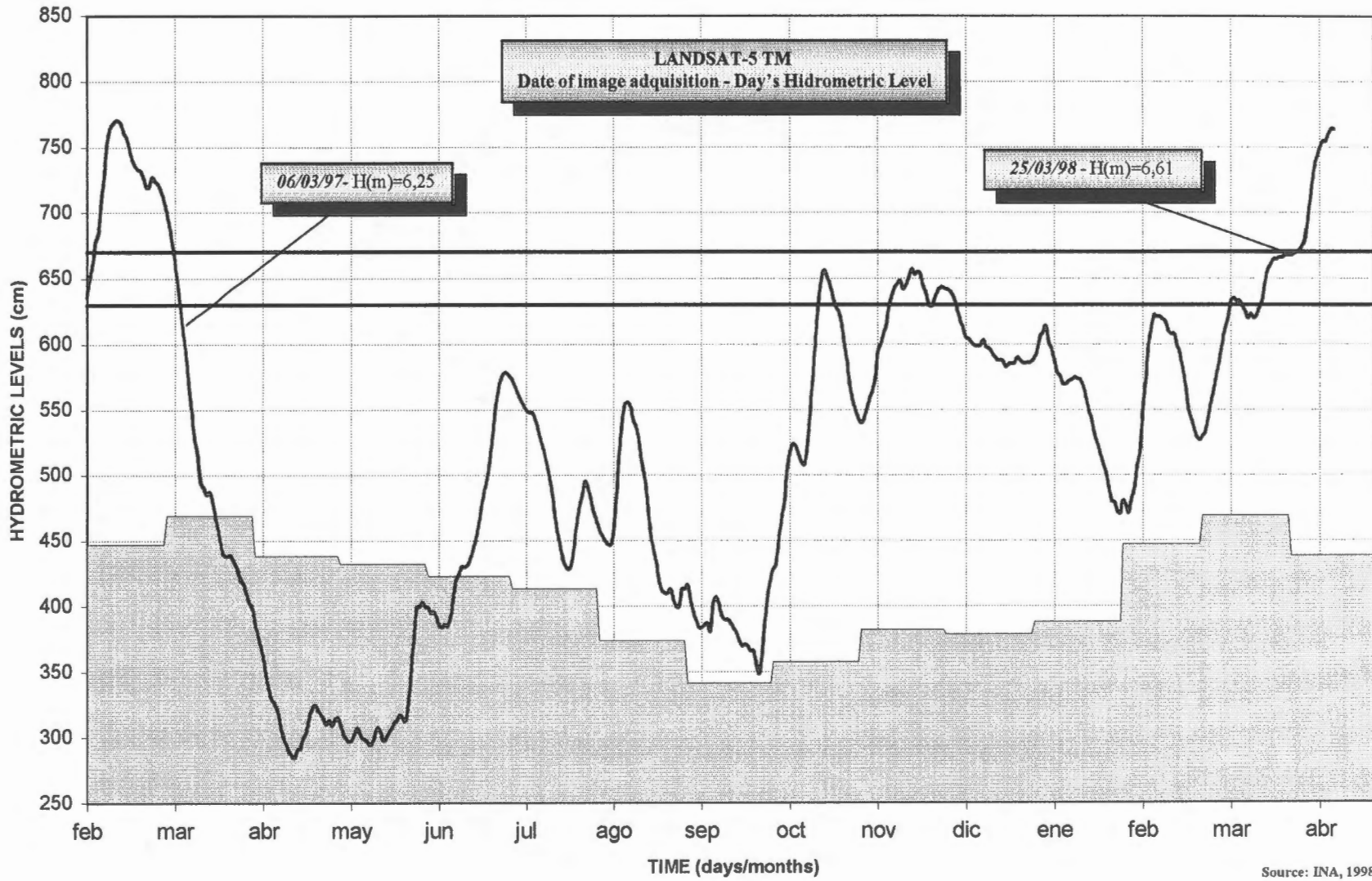


- 173 -

Fig. 2

FLOOD EXTENT MAPPING WITH RADARSAT DATA. A STUDY CASE IN NORTHEASTERN ARGENTINA. Giraut, Aguglino & Ludueña, 1998.

Paraná River - Corrientes Hydrometric Station



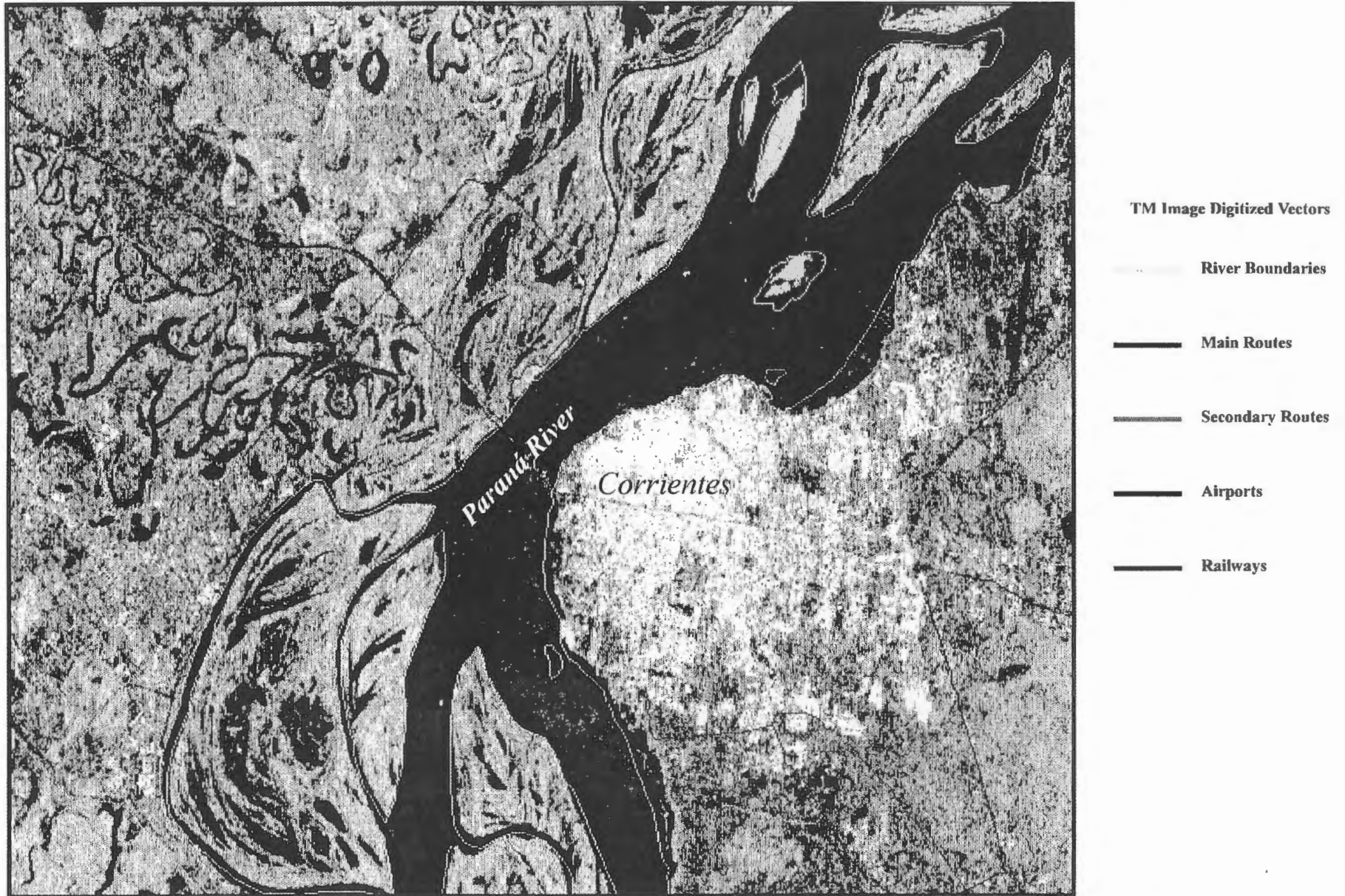
- 174 -

Fig. 3

Monthly promedium (1973/97) — Levels — Warning Level — Evacuation Level

# LOBESAR 2 PROJECT

*“Aplicaciones de RADARSAT en América Latina”, Cartagena, Colombia, 20-24 April 1998*



- 175 -

Fig. 4

FLOOD EXTENT MAPPING WITH RADARSAT DATA. A STUDY CASE IN NORTHEASTERN ARGENTINA. Girani, Aguilino & Ludueña, 1998



# ZONAS DE RIESGO DE INUNDACIÓN ENTRE SANTIAGO Y RANCAGUA, CHILE

## Proyecto Chile - 8

Ana María Bustamante V. (\*)

José L. Gómez Avendaño (\*)

(\*)CENTRO DE INFORMACIÓN DE RECURSOS NATURALES - CIREN

Manuel Montt 1164 Providencia, Santiago, Chile

Tel.: 56-2-2236641 Fax.: 56-2-2096407

Email: ciren@reuna.cl

### RESUMEN

En este trabajo se presentan resultados preliminares del estudio tendiente a desarrollar una Metodología basada en imágenes de radar que permita evaluar cuantitativa y cualitativamente las Áreas de Riesgo de Inundación y Aluvional en áreas preandinas y/o cuencas andinas del país.

En el estudio se están utilizando dos imágenes de RADARSAT las cuales contienen las cuencas de los ríos Paine, Peuco, San Francisco de Mostazal y el estero Codegua que conforman el área de estudio. La primera imagen fue tomada el 1° de Mayo de 1997, cuando todavía no se registraban precipitaciones en la zona y representa un período seco; la segunda imagen fue tomada el 28 de Junio de 1997, seis días después de un fuerte temporal que afectó al país y representa un período húmedo. Las imágenes después de ser integradas y procesadas han revelado un importante aporte en la obtención de resultados, ya que han permitido identificar los sectores afectados por las crecidas de los ríos y esteros aún después de seis días de ocurrido el fenómeno.

#### Introducción

El territorio de Chile continental tiene aproximadamente 4.000 km de longitud y se extiende desde los 17° 30' a los 56° 30' de Latitud Sur, sin considerar el territorio Antártico, con un ancho promedio de 190 km entre la Cordillera de los Andes y el Océano Pacífico. Los núcleos urbanos, agrícolas e industriales se encuentran mayoritariamente al pie de la cordillera, en las áreas de proyección de masa y energía de los torrentes de montaña.

En efecto, las ciudades de la Zona Central de Chile en su mayoría fueron fundadas a orillas de los ríos, los cuales, producto del crecimiento urbano y de la expansión de la ciudad, han quedado insertos dentro de ellas. Posteriormente, la presión socioeconómica por suelo y el desconocimiento de la dinámica de los ríos ha llevado a la ocupación de sus riberas y lechos reduciendo drásticamente el ancho de los cauces.

Esta ocupación antrópica ha traído como consecuencia grandes pérdidas materiales y de vidas humanas, debido a que al producirse fenómenos de tipo aluvional o de crecidas extraordinarias, los ríos recuperan nuevamente su cauce natural erosionando fuertemente las riberas y destruyendo las obras construidas en el lecho.

Las precipitaciones extraordinarias ocurridas en los últimos diez años (1987, 1993 y 1997), han provocado inundaciones en extensas áreas de la Zona Central, donde se asienta la Capital del país, produciendo daños de diversa consideración y difícil cuantificación. Entre ellos podemos indicar: pérdidas de vidas humanas, inundación de zonas urbanas, destrucción de infraestructura vial, e inundación de zonas agrícolas e industriales.

En atención a lo anterior, CIREN decidió iniciar un proyecto en esta área geográfica, con el objeto de definir y delimitar zonas de riesgo de inundación y aluvional, determinar los orígenes de las crecidas extraordinarias y de los movimientos de remoción en masa, identificar las causas de las inundaciones, y proponer soluciones y medidas de mitigación a los problemas provocados por estos fenómenos en las áreas de riesgo.

En este sentido el proyecto contempla aplicar la tecnología de imágenes de **RADARSAT**, de origen canadiense, en la investigación de los fenómenos aluvionales y de inundaciones en Chile. Se trata de desarrollar una metodología basada en imágenes de radar que permita evaluar cuantitativa y cualitativamente las áreas de riesgo de inundaciones, aluviones y otros procesos de remoción en masa en la zona de precordillera y depresión intermedia de la Zona Central de Chile.

### **Área de Estudio**

El área de estudio corresponde a las cuencas de los ríos Paine, Peuco, San Francisco de Mostazal y del Estero Codegua, localizadas en la Zona Central del país, entre las coordenadas 33° 45' y 34° 05' de Latitud Sur y entre los 70° 30' y 70° 50' de Longitud Oeste, con una superficie total aproximada de 720 km<sup>2</sup>. El régimen de sus ríos y esteros es predominante pluvial con significativas crecidas invernales, los cuales, en eventos extremos, desbordan sus cauces ocasionando graves daños en áreas urbanas y rurales.

### **Objetivos**

El objetivo general de este Proyecto es establecer metodologías para definir y delimitar zonas de riesgo de inundación y aluvional que incorporen tecnologías basadas en imágenes de radar.

Los objetivos específicos del proyecto son los siguientes:

- a) Definir y delimitar Zonas de Riesgo Aluvional y de Inundación en el área de estudio.
- b) Determinar los orígenes de los flujos sedimentarios y de las crecidas extraordinarias, y determinar las causas que originan las inundaciones en las áreas rurales y urbanas del área de estudio.
- c) Proponer alternativas de control y de restricción al uso de las áreas de riesgo en el área de estudio y eventuales soluciones a los problemas de inundaciones.
- d) Disponer de un instrumento técnico-metodológico aplicable a otras zonas con iguales características de riesgo hidrológico.

### **Metodología General**

El proyecto pretende desarrollar una metodología que parte del reconocimiento general de las variables básicas e índices derivados que definen la condición de las cuencas de un territorio, evaluando al mismo tiempo el riesgo específico de que se generen aluviones, inundaciones o ambos procesos al interior de cada cuenca. Con ello, en un segundo nivel, definir a una escala de mayor detalle, 1: 20.000 o 1:10.000, las zonas de riesgo aluvional y de inundación, categorizando y caracterizando sus niveles de riesgo físico y los daños potenciales. Finalmente, definir para estas zonas una reglamentación general de uso de la tierra.

La metodología se basa en probar la combinación de técnicas tradicionales y modernas como son la percepción remota satelital y el uso SIG, de tal forma que los resultados sean una respuesta espacial georreferenciada, confiable y exacta, que indirectamente permita la aplicación en otras cuencas de condiciones similares, permitiendo definir al mismo tiempo un sistema de clasificación de tierras y un sistema de prevención de riesgos, así como una disminución de los costos de los estudios relacionados.

En el nivel de semidetalle se plantea definir las áreas de riesgo considerando como variables básicas las geológicas, geomorfológicas, cobertura vegetal, uso del suelo, hidrografía, topografía, clima, centros poblados, infraestructura, embalses y obras de riego; utilizando como datos básicos los que se derivan de las imágenes satelitales.

Todas las variables anteriores se integrarán en un SIG, donde se crearán las bases de datos relacionadas, se realizarán distintos análisis espaciales conducentes a definir dos índices sintéticos intermedios, uno que representará la condición de la cuenca y del territorio (índice físico y ambiental) y otro que representará la

importancia del punto de vista de los bienes amenazados (infraestructura, población, belleza escénica etc.), que denominaremos índice de sistema. La tabulación cruzada de ambos índices determinará las áreas de riesgo

En un segundo nivel, más detallado, se parte de las áreas de riesgo para llegar a definir las zonas de riesgo. En este caso el problema se sitúa en los valles de las cuencas y en la llanura de inundación, donde los procesos traspasan las propias cuencas y están relacionados con las dinámicas fluviales y directamente con las obras de riego y uso de la tierra en un sentido amplio.

Los datos básicos, en este caso, serán información detallada a obtener de un DEM a escala 1:10.000, levantamientos topográficos, fotografías aéreas y cartografía detallada de infraestructura en general.

Las variables a elaborar son: topográficas, geomorfológicas, geológica, vegetación, uso actual del suelo, hidráulica fluvial, mecánica fluvial, viviendas, centros poblados, infraestructura y obras de riego.

Al igual que en el nivel de semidetalle todas las variables se ingresarán al SIG creándose las bases espaciales y alfanuméricas relacionadas, posteriormente se analizarán, creándose un modelo de priorización de las zonas según el riesgo, categorizado en alto, medio y bajo.

El paso siguiente consistirá en la validación de los resultados, determinando la fiabilidad de los datos y los niveles de precisión alcanzados.

Los resultados se expresarán en cartografía detallada, con la caracterización y bases de datos asociadas, indicando para cada una de las zonas de riesgo la reglamentación y el sistema de prevención riegos más adecuado.

#### **Actividades Realizadas**

El material utilizado en ésta primera etapa del estudio es el siguiente:

- Dos imágenes de **RADARSAT**, sensor SAR: una imagen modo fino ascendente F1 del 1° de Mayo de 1997 y una imagen modo estándar ascendente S7 del 28 de Junio de 1997.
- Cartografía con fondo fotográfico, escala 1:20.000, con las muestras de terreno correspondientes a las fechas de toma de imágenes.
- Cartografía con curvas de nivel, red de drenaje y caminos, escala 1:50.000.

Las imágenes de radar fueron integradas y procesadas con los softwares Earth View y PCI. En la Figura N° 1 se muestra el esquema metodológico aplicado en las diferentes etapas consideradas en el análisis digital de las imágenes.

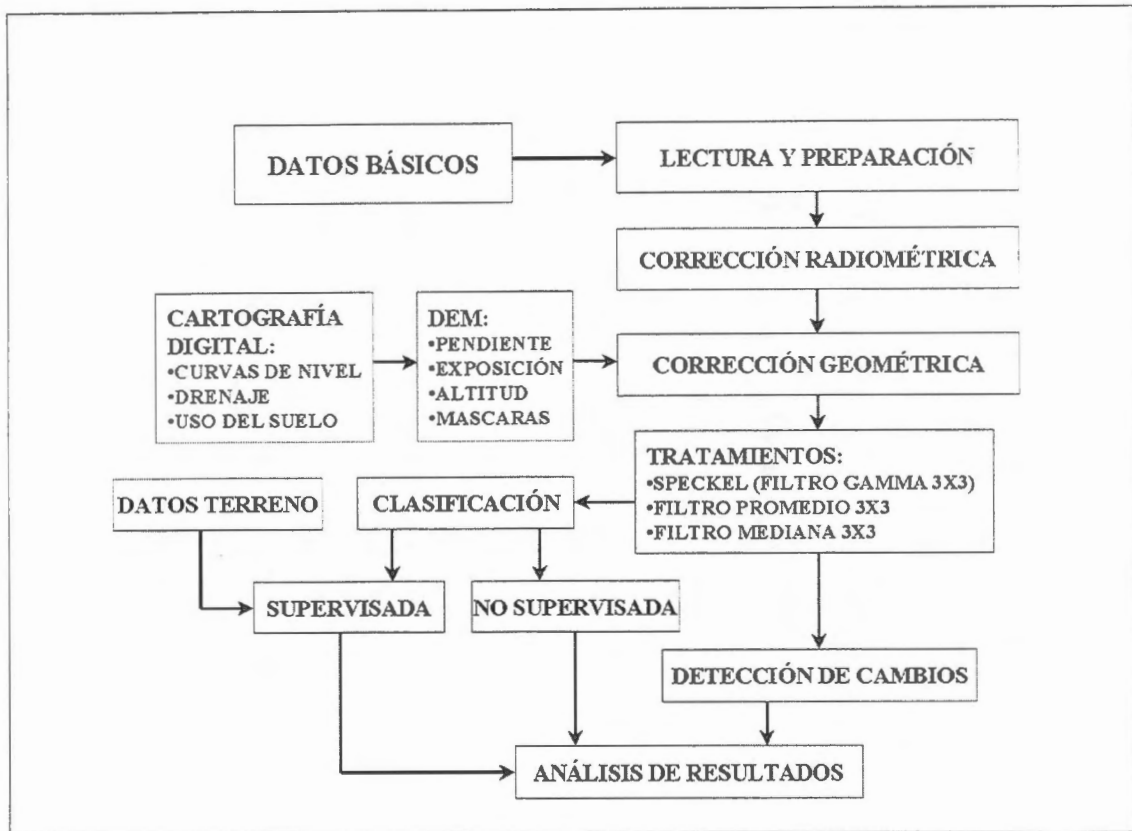
El procesamiento comenzó con la lectura de las imágenes, delimitando dentro de ellas el área de estudio. Posteriormente, a cada una de las imágenes se les aplicó corrección radiométrica y corrección geométrica, esta última se realizó utilizando puntos de control obtenidos de las imágenes simuladas a partir del Modelo de Elevación Digital. Con esto se logró disminuir las distorsiones producidas por las características de la antena, que produce una iluminación no uniforme en la dirección del barrido, y se transformaron los valores digitales a coeficiente de retrodispersión (dB), variable física que corresponde a la respuesta de los objetos y por lo tanto, permite la comparación entre imágenes de distintas fechas.

De acuerdo a las necesidades temáticas se realizaron distintos tipos de realce de los datos, con el fin de facilitar la interpretación y análisis visual.

De igual forma, se aplicaron distintos tipos de filtros, el primer paso fue reducir el moteado (Speckel) utilizando el FGAMMA, posteriormente se aplicó Filtro de Promedio 3x3 y Filtro de Mediana 3x3 para facilitar la interpretación de las imágenes.

Posteriormente las imágenes fueron clasificadas y se realizó el análisis de cambio, fue este último proceso el que entregó los mejores resultados para la identificación de los sectores afectados por las inundaciones. En la Figura N° 2 se muestra el resultado del análisis de detección de cambios, en color verde se muestran las áreas

con cambio negativo, es decir aquellas que presentaron mayor retrodispersión en Junio que en Mayo y en color rojo las áreas con cambio positivo, las que presentaron mayor retrodispersión en Mayo que en Junio.



**Figura N°1: Esquema Metodológico Aplicado**

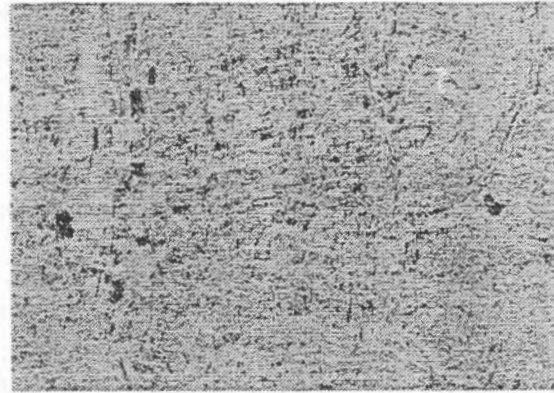
## Resultados

Las imágenes de radar utilizadas, por las fechas en que fueron tomadas, revelaron ser de gran utilidad en el análisis de los fenómenos estudiados. La imagen de Mayo fue tomada antes del período de lluvias, por lo tanto los suelos se encontraban con bajos contenidos de humedad; la de Junio, en cambio, fue tomada seis días después de un fuerte temporal el cual provocó las mayores inundaciones del período invernal de 1997 en la zona, por lo tanto los suelos se encontraban con una alta humedad y algunos todavía permanecían anegados. Al realizar las clasificaciones y los análisis multitemporales de ambas imágenes se observó que los suelos húmedos presentan tonalidades más claras que los suelos secos, esto debido a que la humedad de los suelos aumenta la retrodispersión. Se observó, además, que los suelos anegados presentan una tonalidad oscura, esto permitió identificar zonas en las cuales dichas tonalidades están relacionadas con las crecidas de los cauces.

Como se puede observar en la Figura N° 2, en la imagen de cambio predomina el color verde, lo que es lógico puesto que después del temporal los suelos se encontraban con alto contenido de humedad lo que aumentó la retrodispersión de los elementos. Por otro lado, los sectores que aparecen en rojo son aquellos que tuvieron una baja retrodispersión en Junio, se observó que las áreas que estaban inundadas al momento de la toma de la imagen aparecen en este color en el análisis de detección de cambio, lo que era esperable si se considera que el agua libre tiene una reflexión especular. En la Figura N° 3 se observa una clasificación no supervisada de la imagen de cambio en la cual es posible observar en color negro el área inundada.

Se observó también, que los sectores aledaños a los cauces estudiados presentan cambios que pueden ser asociados tanto a un aumento de humedad como a un cambio en la textura de los cauces debido al arrastre de material grueso que se produce durante las crecidas. Los análisis realizados permitieron generar mapas preliminares para cada una de las cuencas estudiadas, en los cuales se indicaron los sectores que presentan cambios atribuibles a fenómenos de inundación y de depósito de sedimentos.

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL  
DETECCIÓN DE CAMBIO  
IMÁGENES DE MAYO Y JUNIO CON FGAMMA 3x3**



■ CAMBIO  
NEGATIVO  
MAYOR  
RETRODIS.  
EN JUNIO  
QUE EN  
MAYO

■ CAMBIO  
POSITIVO  
MAYOR  
RETRODIS.  
EN MAYO  
QUE EN  
JUNIO

**Figura N°2: Imagen de Cambio**



**Figura N°3: Clasificación No Supervisada - Sector Afectado por Inundaciones**



## Conclusiones

Como conclusión de los trabajos realizados en la primera etapa del estudio, se comprueba que las imágenes de radar entregan información de utilidad en el estudio de las inundaciones. Los análisis multitemporales son los que entregan mejores resultados, ya que permiten determinar los cambios producidos en imágenes de distinta fecha.

Para cuantificar la magnitud de una inundación lo ideal es tener una imagen lo más próxima a la fecha de ocurrido el fenómeno, esto debido a que es muy fácil identificar las áreas cubiertas por el agua, las cuales se presentan de color negro en las imágenes debido a la reflexión especular que produce el agua libre, ver Figura N° 3.

Pasado unos días de producidas las inundaciones, como es el caso de este estudio, de todas maneras es posible identificar las áreas afectadas por las crecidas de los ríos, ya que las imágenes entregan información que permite identificar la presencia de suelos con vegetación inundados, suelos saturados y suelos con distintos grados de humedad lo cual permite observar o monitorear la extensión de las inundaciones.

**MONITOREO DE CARACTERISTICAS AGROHIDROLOGICAS DE  
RELIEVE Y SUELO  
( Fase 1)**

**Héctor A. Salgado**  
Cátedra de Hidrología Agrícola , Facultad de Agronomía UBA  
Avda. San Martín 4453 (1417) Buenos Aires , Argentina

**RESUMEN**

Se presentan la metodología y los primeros pasos del Proyecto Globesar # 18 de la Argentina, en el cual se propone la detección de parámetros agrohidrológicos de relieve y suelo vinculados a la producción de cultivos agrícolas extensivos en la Provincia de Buenos Aires (Argentina).

Se seleccionaron campos en cuencas hidrográficas piloto, donde se realizaron observaciones y mediciones simultáneas con la captura de las imágenes SAR. Se registraron datos meteorológicos, edafológicos, topográficos e hidrológicos, entre los cuales interesó en particular la humedad del horizonte superficial del suelo y la presencia de terrazas para control de erosión hídrica.

En esta primer etapa se ha hecho énfasis en la metodología del trabajo de "verdad terrestre" y en el entrenamiento en el uso de las imágenes SAR, previéndose para el futuro alcanzar óptimos resultados en el monitoreo de la humedad superficial en suelos agrícolas desnudos.

**ABSTRACT**

Methodology and first steps of the Argentine Globesar Project #18 are presented. The main goal of the Project is the monitoring of agrohydrological features of soil and relief, who are associated to extensive crop production in the Buenos Aires Province (Argentina).

Lands in pilot hydrographic basin are selected. Simultaneously with the satellite image capture, observations and measurements were made. Meteorological, soil, topographical and hydrological data were registred, specially surface soil moisture and terraces survey.

In this first stage ground truth methodology and SAR training-learning were enphatized. For the future, the best results in bare soil moisture estimation are preview.

**INTRODUCCION**

La Llanura Pampeana (Fig. 1) comprende una amplia región , donde se encuentra localizada la producción de granos más importante de la Argentina. El rendimiento de los cultivos depende, en primer grado, del agua. El conocimiento y seguimiento del agua y su ciclo es de fundamental importancia para el agro.

Los sensores remotos de microondas, tanto pasivos como activos, han sido objeto de experimentación y estudio para estimar la humedad del suelo, debido a la constante dieléctrica del agua para esas frecuencias del espectro electromagnético (Ulaby et al.,1974, Brisco et al.,1997).

En particular, el Radar de Abertura Sintética (SAR) , operando en banda C, ha mostrado ser una eficaz herramienta para el monitoreo extensivo de la humedad superficial (0 a 10 cm) del suelo ( Wooding et al. 1992).

En este Proyecto se plantea la detección de campos con estructuras para control de la erosión hídrica y la estimación y seguimiento de la humedad superficial del suelo, importantes factores agrohidrológicos de campos agrícolas de la región SE de la Llanura Pampeana caracterizada por suelos bien provistos en materia orgánica (del orden Molisoles, subórdenes Argiudoles y Hapludoles- Soil Taxonomy , 1975), con suaves pendientes y sierras.



Fig. 1 : Llanura Pampeana . Recuadrada en rojo , la zona de estudio .

## MATERIAL Y METODO

El Proyecto contempla la utilización de 4 imágenes SAR RADARSAT de la misma zona del centro de la Provincia de Buenos Aires (Latitud : 37°00'S Longitud : 59°30'W) , en diversos modos, procurando obtener experiencia en la selección de los mismos para la óptima detección de los parámetros hidrológicos. En esta primer fase se han obtenido sólo 2 imágenes (Cuadro 1).

FECHA	Orbita	Haz	Area cubierta
26 de marzo de 1997	Ascendente	Standard 1	100 x 100 km.
9 de agosto de 1997	Descendente	Standard 1	100 x 100 km.

Cuadro 1 : imágenes SAR Radarsat-1

Para la posterior interpretación de los resultados se realizan campañas simultáneas con el pasaje del satélite y captura de la imagen. Dado que, en caso de lluvia, la tarea de campaña se vería dificultada y los resultados serían de difícil interpretación, se planificó un sistema de aviso, basado en análisis del pronóstico meteorológico, para bloquear el proceso de la imagen (por parte del CCRS) hasta con 48 hs. de anticipación.

Se confeccionaron planillas para el registro de datos topográficos, de cobertura y muestreo de humedad de suelo en los lotes seleccionados para la campaña, en los Partidos de Azul y Tandil (Bs.As). La extracción de muestras de suelo se realizó con barreno (Fig2), a una profundidad de 10 cm.

A los fines de detección de estructuras de control de erosión hídrica (terrazas - Fig. 3), se realizó un relevamiento de campos sistematizados, en los cuales también se extrajeron muestras para determinación de humedad en diferentes posiciones del relieve.

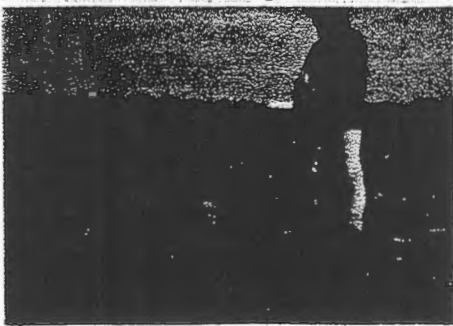


Fig. 2 : Extracción de muestras de suelo con barreno



Fig. 3 : Terrazas en Ea. Los Angeles (Azul)

Como información complementaria se contó con cartografía topográfica del Instituto Geográfico Militar (IGM - Fig. 4 ) y de suelos del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Las imágenes fueron procesadas con los programas PCI y Earthview, con los cuales se las leyó, convirtió a 8 bits, y aplicó filtros de ruido (speckle). Con el programa Idrisi se las georreferenció (Fig. 5).



Fig. 4 : Sector de Carta IGM

Fig. 5 : Sector de imagen RADARSAT

#### PRIMERAS CONSIDERACIONES

Para poder alcanzar los objetivos de detección de terrazas y estimación de humedad, en la próxima fase se profundizará el procesamiento digital de las imágenes, especialmente en lo concerniente a calibración radiométrica y filtrado de ruido, lo cual se llevará a cabo con el programa PCI.

También se experimentará con una imagen en Modo Fino (Fine 2), a los efectos de trabajar con la mayor resolución, que brindan las imágenes RADARSAT.

Resulta previsible que, con un mayor entrenamiento en el tratamiento con el programa PCI, se alcancen óptimos resultados en la estimación y seguimiento de la humedad del suelo.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Brisco B., Pultz T., Brown R. And Gwyn H., 1997 **Soil moisture estimation with RADARSAT**. Pre-print IGARSS'97, Ottawa, Canada.
- Ulaby F., 1974. **Radar measurement of soil moisture content**. IEEE Trans. Antennas Propagation. Vol.AP-22(2), pp.257-265.
- Wooding M. Et al., 1992. **Temporal monitoring of soil moisture using ERS-1 SAR data**. Proceedings of First ERS-1 Symposium, Cannes, France, pp.641-648.

#### AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Agencia Espacial Canadiense (CCRS) por la provisión de las imágenes, con las cuales se lleva a cabo este proyecto, y especialmente a Brian Brisco y Shannon Ross, quienes nos ayudaron con sus clases y sugerencias.

## ACTIVIDADES DEL PROYECTO GLOBESAR EN COSTA RICA

Carlos L. Elizondo  
Luis B. Zamora

Instituto Geográfico Nacional  
Apdo. Postal 2272 - 1000 San José, Costa Rica  
Tel. (506)257.7418 ext. 2620 - Fax (506)257.5246  
E-mail : igncr@ns.casapres.go.cr

### RESUMEN

En marzo de 1995 una delegación canadiense del Centro de Investigaciones para el Desarrollo (CIID) y el Centro Canadiense de Teledetección (CCRS) se reunieron en San José con representantes de algunas instituciones designadas de Costa Rica, Panamá, Honduras y Nicaragua, revisando sus necesidades, prioridades y capacidades en la tecnología de sensores remotos, para considerar la cooperación técnica potencial y la transferencia tecnológica en la difusión y utilización de datos radáricos satelitales aplicados a estudios ambientales en cada país. Dos años más tarde, en febrero de 1997, se inició el Proyecto Regional GlobeSAR para América Central, incluyendo solamente los tres primeros países, con la cooperación financiera del CIID. El principal objetivo de este Proyecto es desarrollar la capacidad de investigación en el uso y aplicaciones de imágenes de satélite con radar en Costa Rica, Panamá y Honduras, a través de la transferencia de tecnología geoespacial y la promoción de investigaciones aplicadas para la evaluación y levantamiento de sus recursos físicos y naturales.

Durante los dos años de duración del Proyecto (1997-1998), se llevan a cabo un variado número de actividades relativas a organización, adquisición de datos, capacitación, trabajo de campo, investigación, procesamiento digital y disseminación de resultados. El I Taller de Capacitación relativo a "Sistemas Radáricos y Aplicaciones RADARSAT" se desarrolló del 15 al 17 de mayo de 1997 en la sede de la Escuela de Geografía de la Universidad de Costa Rica. El II Taller de Capacitación sobre "Análisis Digital de Datos RADARSAT", conjuntamente con la demostración de software especializado para el procesamiento de imágenes satelitales, se desarrolló del 8 al 12 de diciembre de 1997 en la sede del Laboratorio TELESIG de la Universidad Nacional.

Se han seleccionado cinco áreas de Costa Rica para la adquisición de las imágenes del satélite RADARSAT y la realización posterior de diversas investigaciones aplicadas. Cada área cubre 100 x 100 Km., dado que se ha programado el Modo Operacional Standard del satélite con diferentes ángulos de incidencia. Las áreas se escogieron en base al interés institucional reportado al inicio del Proyecto, el tipo de posibles aplicaciones y el potencial de los datos radáricos en relación con las condiciones topográficas y geográficas.

El Proyecto convocó a la mayoría de centros o laboratorios nacionales con procesamiento en datos geoespaciales, registrados en el Instituto Geográfico Nacional, para presentar propuestas de investigación manifestando el interés de participar en las actividades programadas. Se inscribieron formalmente 17 propuestas con la participación de 29 investigadores de diferentes disciplinas, procedentes de 15 centros especializados.

Esas entidades se encuentran participando en el Proyecto de diferente forma, a través de los centros o laboratorios especializados en el procesamiento de datos y generación de información geoespacial. Se espera a la conclusión de todos los proyectos nacionales contar con una evaluación exacta de la capacidad de esa tecnología para el inventario de los recursos en cada país y garantizar la transferencia tecnológica de una manera amplia, cubriendo la capacitación de los recursos humanos disponibles, la adquisición de equipos adecuados, la divulgación de software especializado y el conocimiento de las técnicas o métodos apropiados para el máximo aprovechamiento futuro de los datos generados mediante teledetección radárica.



# APLICACIÓN DE LA TÉCNICA RADAR EN LOS PROCESOS HIDRODINÁMICOS DE SEDIMENTACIÓN EN EL SISTEMA LAGUNAR CAÑO NEGRO

Lic. Francisco Javier Solano Mata  
Ing. Sergio Feoli Boraschi

PROGRAMA DE INVESTIGACIONES GEOGRÁFICAS  
ESCUELA DE GEOGRAFÍA - UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

## ABSTRACT

La dinámica de sedimentación es un proceso natural, que en diversos ambientes fluvio-lacustres implica la creación de nuevos escenarios geomorfológicos. En Costa Rica, este tipo de ambientes, por su configuración morfológica, presentan una dinámica variada, donde la colmatación de sedimentos y la modificación de superficies se dan activamente.

Estudiada en un ámbito espacial definido - como lo es el Sistema Lagunar Caño Negro, en el Refugio Nacional de Vida Silvestre de Caño Negro, Zona Norte - es posible describir las condiciones naturales y modificaciones morfológicas que le infieren particularidad a este ambiente.

El proyecto plantea la necesidad de realizar una evaluación visual y analítica de la dinámica de sedimentación que se presenta en el sitio de interés, estableciendo su relación con el proceso de acarreo de materiales por el Río Frío.

El estudio propone un análisis concreto, que logre una aplicación directa de la técnica del Radar, que apoye la gestión del proceso restaurativo del espacio en cuestión, que permita a su vez, la sostenibilidad del humedal y las actividades que el hombre en éste lleva a cabo. El planteamiento del estudio busca la caracterización de los elementos de índole natural, que se relacionaran con el comportamiento hidrodinámico del sistema natural integrado, Río Frío - Sistema Depresivo Caño Negro y canales menores.

Las razones en las cuales el proyecto se sustenta, incluyen la necesidad de aplicar una técnica relativamente reciente, como la del Radar, en el estudio de ambientes y procesos hidrodinámicos, como el Sistema Lagunar Caño Negro, que por su condición estacional y complejidad natural, limita la aplicación de otras técnicas de obtención de información aérea. Sin perder de vista que: el humedal desarrollado de manera natural en Caño Negro constituye uno de los humedales de gran importancia en la Zona Norte del Costa Rica, es un sitio de gran importancia socioeconómica para las poblaciones asentadas cerca del lugar por el acervo de recursos biológicos y paisajísticos que contiene,

· La dinámica hidrológica se ha modificado en los últimos 20 años por las obras construidas y uso dado de las áreas anexas al humedal, las cuales han influido para que el proceso de sedimentación se haya incrementado y hoy sea necesario su estudio, comprensión y mitigación,

· El sistema natural está sufriendo un proceso de degradación que atenta contra la vida útil y estabilidad de los ecosistemas, disminuyendo así la base de recursos naturales existentes en el área.

Por lo tanto, el objetivo básico en que se sustenta esta aplicación implica, analizar los cambios estacionales en la depositación de los sedimentos y la delimitación actual del sistema lagunar, mediante el procesamiento de una imagen de radar actualizada.

El desarrollo del trabajo incluye el conocimiento y variabilidad de micro ambientes topográficos que se presenta en el área de estudio. La descripción de sitios particulares se fundamenta en el estudio exhaustivo de dos imágenes de radar (Guatuso I, mayo, 1997 y Guatuso II, noviembre, 1997), que procesadas con el software PCI, permite el tratamiento y sobreposición de dichas imágenes, apoyadas con la utilización de dos imágenes Landsat TM del año 1997, definiendo así la variabilidad en los espejos de agua, los cursos naturales y la cobertura vegetal.

Una vez realizada la sobreposición y el tratamiento respectivo, se podrán determinar las áreas donde el humedal tiende a una mayor sedimentación, así como las zonas que presentan una estacionalidad evidenciada y que implica un cambio en la morfodinámica del humedal y el tránsito de aguas por los cursos fluviales.

Por otra parte, y utilizando las imágenes de satélite, se puede determinar que tipo de vegetación se ve afectada por tal dinámica, así como las áreas en donde se gesta un aprovechamiento forestal.

## MAPEO COSTERO ENTRE LIMA Y PISCO MEDIANTE DATOS RADARSAT

R. Coloma, A. Valverde,

Comision Nacional de Investigacion y Desarrollo Aeroespacial  
CONIDA- Peru  
Luis Felipe Villaran 1069, Lima 27, San Isidro, Peru Fax: 511-441-9081  
E-mail: [rcoloma@conida.gob.pe](mailto:rcoloma@conida.gob.pe)

### RESUMEN

Este informe está orientado a la utilización de imágenes Radarsat para el mapeo de la zona costera comprendida entre Lima y Pisco con particular atención al sector Industrial y la Reserva Natural de Paracas.

Mediante la utilización y combinación de formatos S2 y S7 se llevó a cabo la interpretación geomorfológica de la zona costera del sector seleccionado.

Contándose con un estudio preliminar realizado en Conida en el cual se utilizó básicamente imágenes Landsat que permitió la identificación precisa de los valles y zonas de cultivo en el sector costero entre Lima y Pisco así como la carta nacional a escala 1:100,000 permitió la generación de modelos de elevación del terreno.

Al análisis del comportamiento costero se ha realizado en un estudio multitemporal a partir de cartas 1:100,000 del año 1967 y los recientes datos Radarsat que permite estimar los cambios en la topografía en el sector comprendido entre el balneario de San Bartolo y puerto de Pisco mostrando algunas zonas con cambios significativos debido al reciente fenómeno del Niño.

La proliferación de plantas para la industrialización de la pesca ha creado en el sector un ambiente hostil y confrontado con las necesidades de la Reserva Nacional de Paracas, que requiere principalmente la no contaminación costera con derivados industriales.

Los pocos valles existentes han sido afectados por las inundaciones provocadas por el fenómeno del Niño y en casi todos ellos el aporte arrastrado por los ríos ha consistido en grandes cantidades de piedras y tierras arcillosas modificando el suelo y potencialidades.

El uso combinado de imágenes Radarsat y Landast ha permitido resaltar notablemente el uso del suelo y la influencia del fenómeno del Niño sobre el lugar cuando

# LINEAMENTS INTERPRETATION USING RADARSAT IMAGES TO PROVIDE INFORMATION ABOUT GEOLOGIC STRUCTURES

**Paulo Roberto Meneses**  
**Adriana Chatack Carmelo**

Universidade de Brasilia- Instituto de Geociências  
Campus Universitário Darcy Ribeiro - Brasília, Brasil  
tel. (061)348-2872 fax (061)347-4062  
email: lsrunb@guarany.umb.br

## ABSTRACT

Satellite SAR images is a new tool in the remote sensing applications with considerable advantages in showing subtle differences in the topographic textures of relief. The possibility to select the most ideal illumination angle, as allowed by the RADARSAT images, certainly will provide the detection of geological and structural data much more efficiently than was possible by the optical sensor. In this investigation RADARSAT images were used to interpret the structural features of complex granitic-gneiss Precambrian terrain situated in the central part of Brazil. Folds, shear zones, thrust fault and fractures systems could be clearly identified in the radar images and were confirmed in field works. A precise detection of this kind of structural features is of great relevance to studies of fissure aquifers.

## INTRODUCTION

This study intends to contribute with a detailed investigation of the geometry and tectonic/structure significance of lineaments extracted from RADARSAT images, with the purpose to demonstrate their value for geological applications. The different acquisition modes of RADARSAT brings new dimension to satellite remote sensing providing an unique possibility to select the best inclined look direction to enhance subtle topographic features that are the main expression of geologic structures.

Based on the previous knowledge of the structural system of the test area, our investigation are concentrated on the re-evaluation of relevant structures like faults, fractures, foliation trends and any planar structure. Lineaments mapping through radar and lineament distribution statistics is being supplemented by a genetically-based classification of the fracture system through field investigation. The test site area was selected for the following reasons:

1. It includes the two largest and most populated cities of Goiás State (Goiânia and Anápolis) where lineament maps can be effectively used as auxiliary data for the study of geological structures for the evaluation of aquifers, the selection of possible waste disposal areas etc.
2. It provides a representative test for radar interpretation in early Precambrian basement rocks with complex structural patterns nearly always masked by the weathering rocks and deep erosion.
3. It presents a great number of linear features that due to their extensive length are difficult to be recognized in aerial photographs or in field works.

4. It allows us to compare the results obtained with previous geologic maps at similar scale of the radar images, with airborne SAR image band X, Landsat image and aerial photograph at scale 1: 60.000.

## **DATA SOURCES**

Two RADARSAT images were supplied on CD-ROM. The standard mode S4 cover a broad area of 105x115Km centered in the coordinates W48° 59' S16° 21' which is in part superposed by a fine mode F5 that recovered an area of 38x50 Km centered in the coordinates W48°48' S16°28'.

This area is located at the center portion of Brazil, characterized by a savana vegetation which allows a more direct interactions of radar pulse with the rock surfaces.

## **OUTLINE OF GEOLOGY**

The test site area comprises essentially lithotypes of granulitic metamorphism belonging to a median massif of granitic-gneiss composition flanked by upper Precambrian Folded Belts. This granulitic complex (Anapolis-Itaçu Complex) is composed of granulitic rocks of igneous and sedimentary origin, both built-up from volcano-sedimentary sequence. The former is consisted of gabros, norites, ultrabasic rocks, as well as enderbites and charnoenderbites; the latter are represented by alumino-silicate gneisses, calci-silicate rocks and gondites. Metassomatic granitoids of Na-affiliation synchronously developed with the mentioned granulites, which were also derived from the same vulcano-sedimentary sequence and submitted to amphibolite facies conditions. This suite is assigned with probable Archean to early Proterozoic age (CPRM, 1994 a,b).

Two main deformational cycles outlined the regional tectonic framework. The first, probably Archean in age and developed under high and strong ductile conditions, expresses the extraordinary plasticity, stretching, thinning and flattening in rocks. Later, another ductile cycle deformed the granulitic and granitoid rocks, as well the upper groups, overprinting on both shear zones, detachment surfaces and transcurrent faults.

A transcurrent tectonic domain occurs all over the granulitic terrains with the presence of several simple ductile shear zones, strike-slip faults (ductile lateral ramps), contractional and transthrust (frontal - oblique ramps), all of them marked by three principal milonitic directions:

N 50-60W corresponding to the milonitic surphace

E-W subvertical milonitic banding created by foliation transposition

N30E nuptile deformation subvertical

Epigenetic mineralized deposits like gold can occur in hydrothermal lode derived from amphibolites of the granulites and granitoids.

## **METHODOLOGY**

Geologic structure analysis by means of lineaments interpretation have proved to be the most effective method to be used with satellite images. Unfortunately, great part of interpreters of satellite images rarely follow a systematic and logical method of extraction and classification of lineaments, what have caused many confusion and mistakes when these image features are correlated to their geologic significance. Due to the large use of satellite images in the Brazilian geology works, the authors and in special Strieder

& Amaro (1996) developed and testified by field work a simple method of lineaments classification which can be applied without any restriction to any type of remote sensing image in small scale.

This method has as premise the understanding that all lineaments seen in any kind of images are the 2D topographic expression of a 3D structure. The lineaments analysis make possible to distinguish disjunctive faults and joints which produce line arrays, different from the lineament developed by folded and thrust strata, as instance. These linear arrays are different not only in their regional pattern, but also in their quality and nature.

Close related to the lineaments nature, they are classified for interpretation purpose, in two types:

**Type 1 Lineaments** - Define regional folds, inflections and general structural trends. Penetrative ductile structures as foliation, schistosity ou gneissic banding, are generally more able to sustain such type of lineament. They are identified in the images as slightly curvilinear forms of short dimensions and preferentially associated to negative ruptures of relief. As commented by Strieder & Amaro (1996), in the range of brittle ductile to ductile shear zones there is the development of a new planar or linear fabric where differential weathering and erosion processes may develop positive and negative geomorphic features which are depicted as tonal bands in the images. Type 1 lineaments truncations associated with relief scarp also define the presence of thrust faults. Because thrust faults are low angle reverse faults, they develop fault scarps erosionally degraded.

**Type 2 Lineaments** - Are related to brittle disjunctive structure like fractures, which do not develop a new fabric. Transcurrent Riedel fractures are good examples of type 2 lineaments. However, the most frequent expressions of this class of lineament are negative geomorphic features represented by linear drainage channels. According to Strieder & Amaro (1996), type 2 lineament maps can show the geometric pattern of faults and can define the width of the deformation zone. In a general way, the fracture patterns develop in a diversity of tectonic setting and can be describe by letter. Examples of structures delineated by both type 1 and type 2 lineaments are illustrated in Fig. 1a-d.

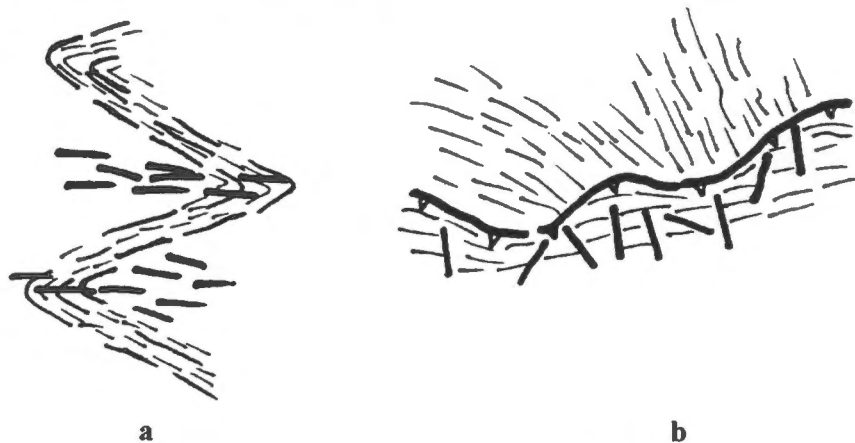


Fig.1 a)Type 1 lineaments describing folded strata; axial plane fracture may develop type 2 lineaments. b)Type 1 lineament truncation associated with relief scarps suggesting thrust fault; type 2 lineaments may be present in upper thrust sheet when they are normal or oblique to the thrust.



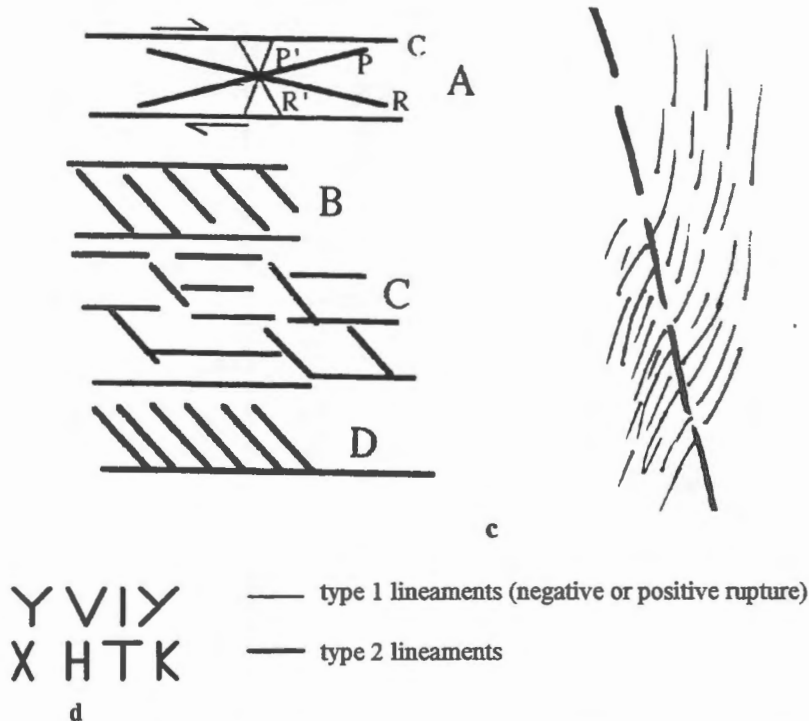


Fig.1 c) Transcurrent Riedel fracture system (A) giving rise to simple (B) or complex (C) duplex or pinnate fracture (D) by simple shear, conjugate fracture system (E). Curvilineaments of stratified rocks deformed and crosscut by a brittle-ductile shear zone d) Possible fracture trace patterns describe by letters built up by type 2 lineaments. (Modified Srtieder & Amaro 1996).

## IMAGE ANALYSIS

Because it is intended in a further stage to make data integration with geophysical data, geologic maps and Landsat images, geometric correction of the RadarSat image was performed using bilinear interpolation with a number of 23 ground control points. Spectral enhancements techniques have been limited to tentatively reduce the speckle noise and to promote enhancement of the lineaments by use of Lee, Frost and directional filters. Output video image was generated in the scale of 1: 100.000.

Analysis of the images was directly carried out by visual interpretation on enlarged images display on video (21" screen), using the GIS facilities to trace the linear features. By this process a preliminary lineament map was prepared. By making an analysis of the geometric relationships of those lineaments, it was possible to select which local areas were meaningful to play an important role in establishing useful information to establish kinematics movement through data field collection. This procedure assures a safety guide to the field investigations, saving time and money. The next step basically consists in a re-interpretation of the lineament map with reference to the previous field investigation.

In a general outline the lineaments depicted in the radar images are present all over the granulitic terrains and assign the presence of several ductile shear zones, strike-slip faults (ductile lateral ramps), and

transthrust (frontal - oblique ramps), all of them marked by three principal milonitic directions well identified by type 1 and type 2 lineaments:

- N 50-60W is the most remarkable lineament direction of type 1, corresponding to the principal milonitic surface;
- E-W subvertical milonitic banding created by foliation transposition;
- NE/NW ruptile deformation characterized by small and linear features of type 2 lineaments, meaning fractures.

These shear zones established a generalized tectonic contacts among the rock units due to a transcurrent tectonic that have caused mass movements of the upper rocks group from west to east/southeast.

## RESULTS

The lineaments type 1 were precise to delineate the zones of milonitic foliation which in close conjunction with long type 2 lineament define the strike-slip faults. The NW direction of these structures was favorable to be identify in RadarSat images because their small topographic scarps faces the radar look direction and produces a white/black pair feature easily recognized as foliation. Thrust faults do not develop type 2 lineaments, but are recognized by their prominent scarps, with their contour crests delineating the trace of the fault. The crest identify the position of the frontal ramps and are indicative of mass movements.

As a register of the ruptile tectonics, fracture systems identified by type 2 lineaments coincide essentially with linear water channels and most of them describe a "Y" letter pattern in a preferentially northeast direction.

The space distribution of the lineament map clearly recognizes two distinctive areas in terms of density and class of lineaments: one area located at half south part of radar images, contains high density type 1 lineaments what suggest to represent a local area that concentrates the major presence of ductile deformation; the other area at north portion concentrates the linear type 2 lineaments representative of ruptile deformation. This simple spatial separation identify on the radar images can be significant for purpose of underground water evaluation, as instance.

## CONCLUSION

Lineaments are natural feature disposed essentially by topographic elements. In spite of many of the lineaments could be recognized in other kind of images, like TM- Landsat, the radar images appear to be more pleasant for interpretation because other surrounding feature, as cultivate areas deliniated by linear boards has minus influence to distract the photo-interpret. The less variation of gray tonal grades in radar images make more easier the lineaments extraction. It also was noted that NS structure direction are better recognized in the radar than in TM-Landsat images as function of a more frontal illumination radar pulse.

The three main structural direction present in the area were identified in the radar images with very good precision. The density of lineaments provides a very well understanding of the geometry, which is the base for the understanding of the regional framework of the structural/tectonic process submitted in the area.

Another no minus important quality of the radar systems is their all-weather capability. In general for geological structure analysis low sun angle inclination is better to enhance the topographic features. Unfortunately this condition coincide with Brazilian winter-dry season when pasture burn practice became common in Brazilian central region, causing strong spectral feature in the optical images that mask the lineaments.

#### REFERENCES

- CPRM 1994 (a) - Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil. Anápolis Folha SE.22-X-B-II. Texto explicativo. Brasília, DF. 113p.
- CPRM 1994 (b) - Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil. Leopoldo de Bulhões Folha SE.22-X-B-V. Texto explicativo. Brasília, DF. 151p.
- Strieder, A.J; Amaro, V.E 1996 - Structural patterns removed from remotely sensed lineaments. Revista Egatea 24.

# DISCRIMINACION DE LA COBERTURA DEL SUELO Y LOCALIZACION DE LA EROSION Y FALLAS USANDO IMAGENES RADAR Y LANDSAT EN LA CUENCA DEL RIO TERRABA, COSTA RICA

MSc. Javier Saborío Bejarano  
Instituto Geografico Nacional  
Labora para la Unidad SIG y Sensores Remotos del ICE, es  
profesor asociado del Centro en Investigaciones y Desarrollo Sostenible  
CIEDES de la UCR, Tel.: (506)2206097, Fax.: (506)2572543, email:  
jsaborio@cariari.ucr.ac.cr

## RESUMEN

La determinación de la cobertura del suelo, incluyendo aspectos de erosión laminar, incluyendo deslizamientos, ha sido una necesidad de enorme importancia y beneficio en diferentes áreas de la región centroamericana. Normalmente se han utilizado imágenes de sensores pasivos Landsat o SPOT tomadas en verano. Sin embargo, en ciertas áreas tropicales resulta muy difícil obtener imágenes de buena calidad en época lluviosa (Maraux, 1989), así mismo la densa cobertura vegetal impide la localización efectiva de zonas propensas a erosión. Siendo la imagen radar, por sus características apta para evitar el problema de las nubes y de la cobertura (Lillesand y Kiefer, 1994), queda por investigar que tan bueno es su aporte en cuanto a la clasificación de la cobertura y posibilidades en cuanto a ubicación de la erosión.

Así, el objetivo de este trabajo es el de realizar mapas del uso actual de la tierra y de áreas de grado y severidad de erosión y localización de fallas geológicas con el propósito de evaluar las potencialidades del sistema radar en esta temática, para la cuenca del Río Terraba, Costa Rica. Los objetivos específicos serán:

1. Clasificación de imagen Landsat, con datos auxiliares,
2. Clasificación de la imagen radar con datos de campo,
3. Comparación / integración de las clasificaciones,
4. Realizar un mapa de áreas de erosión, utilizando la ecuación de pérdida universal de suelos e incorporar los mapas previamente clasificados como el factor de cobertura de la tierra en la ecuación.

Respecto a la metodología, las actividades se pueden resumir, desde la búsqueda de información auxiliar, incluyendo muestreos de parcelas con diferentes tipos de cobertura, usando GPS y posterior traslado de la información referenciada a formato digital, labores iniciadas en el año

1997, para ser utilizada en la comprobación de las clasificaciones, un segundo paso incluye la clasificación de la imagen Landsat TM, esto se ha realizado mediante una clasificación no supervisada de la imagen satélite de marzo de 1994 (hay posibilidad de utilizar otra imagen del año 1996). Esta clasificación se hizo usando Isodata de ERDAS Image, apoyados en la información de campo. Al tenerse la imagen RADAR del 4 de mayo de 1997, en formato digital, se realizará un preprocesamiento de la misma, esto se llevará a cabo tanto con el programa IDRISI para Windows, así como el módulo RADAR Image Analysis de ERDAS.

En esta etapa se pretende: a. aplicar supresión granular (speckle) y funciones de realce (minimizar el efecto de ruido granular en la imagen RADAR. Probar diferentes tipos de

filtros, tales como Kernel, umbrales, etc. (Eastman, et al., 1997). Así como derivación de características texturales de la superficie y posterior uso de las nuevas imágenes como entradas en el proceso de clasificación (ERDAS, 1997). El siguiente paso será la clasificación de la imagen RADAR, esto es, proceder a realizar una clasificación de cobertura de la imagen RADAR y compararla con la obtenida con la clasificación de la imagen Landsat Finalmente utilizando diferentes filtros, se procederá a dar énfasis a las áreas erosionadas en la cuenca, así debido al potencial de la imagen RADAR en cuanto a aspectos geológicos, se llevará a cabo una clasificación que muestre accidentes o fallas y erosión; a manera de verificación se creará un mapa de erosión potencial, para esto se utilizará el programa CALSITE en combinación con IDRISI para DOS (alternativamente Análisis Espacial de ARCVIEW) que modela la USLE (Saborío y Aylward, 1997). El propósito es confrontar la clasificación RADAR contra el mapa de erosión potencial producido. La información de las variables espaciales: modelo de elevación digital, erosividad de la lluvia, erodibilidad del suelo, para el programa CALSITE se encuentra en proceso.

### **Bibliografía**

Maraux, F., 1989 *Estudio probalístico para evaluar la obtención de imágenes SPOT en Centro América y Panamá*. CATIE, Costa Rica

Lilledand, T. y Kiefer, R. 1994 *Remote Sensing and Image Interpretation*. Third Edition. USA.

ERDAS, 1997. Manual de referencia del usuario

Eastman, R., et al., 1997 *Chapter Radar Imaging and Analysis*. User Guide Idrisi for Windows, Worcester.

Saborío J., y Aylward, B., 1997 *Análisis Espacial de Erosión y transporte de Sedimentos en Tres Micro-Cuencas de Arenal*, Costa Rica.

# EL VULCANISMO CENOZOICO DE LA PUNA AUSTRAL (ARGENTINA) Y SU POTENCIAL MINERO

Zappettini, E; Martinez, H; Alsina, N.  
Servicio Geologico Minero de Argentina - SEGEMAR  
FAX 541-349-3173, email: hmartin@secind.mecon.ar

Como parte del los programas nacionales de cartografia tematica, el Servicio Geologico Minero de Argentina esta ejecutando un estudio de la Puna Austral, con especial énfasis en los recursos minerales. Dicho estudio cuenta con financiamiento parcial del Canadian International Development Agency (CIDA) a travez del Proyecto "Multinational Andean Project" que comprende el relevamiento geológico regional escala 1:250000, la prospección geoquímica y geofísica aérea (magnetometría y radimetria) y el procesamiento e interpretación, para composición geológica, alteraciones mineras y estructuras, de imágenes Landsat TM, RadarSat y Modelos Digitales de Terreno.

El segmento del proyecto que involucra el uso de imágenes radar se divide en tres etapas.

## **1 Etapa**

Georeferenciación preliminar y procesamiento básico de la imagen radar, con filtrados Speckle y realce de aspectos estructurales. Ploteado a escala 1:100000. Interpretación visual preliminar usando además imágenes Landsat TM falso color bandas 7,4,1 y banda térmica y geológica regional base.

## **2 Etapa**

Utilización de modelos digitales de terreno, obtenidos a partir de la geofísica aérea (disponibles a partir de agosto de 1998) para la ortocorrección y georeferenciación definitiva de la imagen radar. Utilización junto con la geológica definitiva para la reinterpretación final de los patrones estructurales e integración de estos con las áreas de alteración minera obtenidas de las imágenes Landsat TM procesadas por cociente de bandas.

## **3 Etapa**

Informe final de los resultados obtenidos e integración de los datos con el resto del, Proyecto MAP en un Sistema Geográfico de Información.

## **Resultados**

Finalizada la primera etapa del trabajo, los resultados obtenidos se traducen en la determinación de dos nuevas estructuras de calderas, no observadas anteriormente en las imágenes Landsat. Estas se ubican en las zonas denominadas Cueros de Purulla y cerro de la Laguna Escondida.

La primera está emplazada en el borde de un área de afloramiento de basamento metamórfico pre-ordovícico y corresponde a un vulcanismo dacítico



andesítico asignado al Plioceno (ciclo intermedio del área) y su importancia radica en que está vinculado a una importante área de alteración hidrotermal, de tipo epitermal, con presencia de Au y Cu, con Pb y Zn asociados.

La caldera que rodea el cerro de la Laguna Escondida es más antigua. Esta Emplazada dentro del vulcanismo mesosilicico de probable edad miocena y dentro de ella se han formado dos conos volc' a nicos asociados al vulcanismo Plioceno y Holoceno.

Los tres eventos volcánicos registrados en el área, correspondientes al Mioceno, Plioceno y Holoceno, representan la expresión sudeste de la reconocida Faja de Maricunga, una de las áreas de mineralizaciones de Au más importantes de Chile.

# ANÁLISIS DE IMÁGENES SAR/RADARSAT DEL BAJO DELTA DEL RÍO PARANÁ, ARGENTINA. PARTE I: SELECCIÓN Y VERIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE PRE-PROCESAMIENTO Y PROCESAMIENTO

Jorge A. Milovich<sup>(1)</sup>, Laura A. Frulla<sup>(1)</sup>, Haydée Karszenbaum<sup>(1)</sup>, Patricia Kandus<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Consejo Nacional de Actividades Científicas y Técnicas (CONICET)  
Julián Alvarez 1218, (1414) Buenos Aires, Argentina  
Phone (54-1) 772-1471 Fax: (54-1) 776 0410  
e-mail: jorge@caerce.edu.ar, laura@caerce.edu.ar, haydee@caerce.edu.ar

<sup>(2)</sup>Laboratorio de Ecología Regional, Departamento de Biología - Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Universidad de Buenos Aires (UBA)  
Ciudad Universitaria, Pabellón 2, 4to. piso. (1428), Buenos Aires, Argentina  
FAX: (54-1) 782-0582/0620, Phone: (54-1) 782-0582  
pato@biolo.bg.fcen.uba.ar

## RESUMEN

El proyecto Globsar2 asociado a este trabajo incluye dos partes. La primera de ellas está dedicada a la determinación de procedimientos de pre-procesamiento y procesamiento de datos SAR/Radarsat adecuados para la zona de estudio propuesta (Bajo Delta del Río Paraná). En la segunda parte (Kandus *et al*, 1998 de este volumen) se analizan los datos SAR ya procesados con el objeto de: 1) determinar la influencia de las condiciones hidrológicas, meteorológicas y el efecto de la actividad antrópica en la señal retrodispersada, 2) analizar la capacidad de discriminar entre patrones de paisaje naturales y antrópicos y 3) determinar la influencia del ángulo de incidencia en la señal retrodispersada correspondiente a las distintas coberturas seleccionadas.

Por tratarse de un humedal, la zona de estudio presenta elementos de vegetación con distintos grados de inundabilidad. Por lo tanto la señal de radar retrodispersada contiene tanto información acerca de las características eléctricas como estructurales de este ecosistema. Además la zona presenta límites difusos entre los distintos ambientes que están presentes.

Es bien sabido que, en general, toda imagen obtenida por un sistema satelital requiere de la aplicación de técnicas de pre-procesamiento previo a su utilización. En el caso particular del radar, estas técnicas no sólo tienen características particulares, sino que para su utilización es necesario tener en cuenta un conjunto de parámetros que dependen del sensor y de las características de la escena. En este trabajo se discuten los procedimientos de calibración, de reducción de ruido speckle y de corrección geométrica de las imágenes SAR/Radarsat de esta zona. Se analiza además cualitativamente y cuantitativamente el comportamiento de varios filtros y se describen las distintas representaciones del coeficiente de retrodispersión y su utilización en cada etapa del tratamiento.

## Introducción

En la última década ha habido un esfuerzo sostenido con el fin de colocar en órbita sistemas satelitales de observación terrestre con radares de apertura sintética (SAR/ERS, SAR/JERS, Radarsat). Estos esfuerzos realizados en tan pequeño período de tiempo pueden considerarse como un indicador de la importancia de estas observaciones. Por otra parte, las diferencias existentes entre cada sensor, unido al hecho de que existe una disponibilidad creciente de este tipo de información, sugiere el desarrollo de técnicas que permitan el aprovechamiento de las características distintivas de cada sistema y la utilización de este tipo de datos individualmente o combinados a fin de estudiar el medio ambiente terrestre.

La zona de estudio, el Bajo Delta del Río Paraná (Argentina), constituye un importante humedal situado muy próximo a la Ciudad de Buenos Aires del cual no sólo es de gran interés su estudio y monitoreo como ecosistema natural sino también como área productiva, ya que contiene grandes plantaciones de sauce y álamo (Kandus *et al.* 1997). A los fines del radar, se trata de una zona compleja donde la señal retrodispersada contiene tanto elementos estructurales del paisaje como eléctricos debido a la presencia permanente de agua.

Si bien las imágenes SAR han demostrado su utilidad en aplicaciones hidrológicas, cuando se trata de estudiar vegetación con diferentes niveles de inundabilidad, la literatura presenta resultados que, en algunos casos, son contradictorios debido a las diferencias en la estructura de la vegetación y en el grado de inundabilidad de la misma y al sistema utilizado (banda, polarización, ángulo de incidencia) (Pereira de Farias Costa *et al.* 1997). Más aún, las características geofísicas presentes en este tipo de aplicaciones cambian continuamente y necesitan de un monitoreo regular y frecuente. Estas aplicaciones requieren de instrumentos que combinen independencia de las observaciones con las condiciones del tiempo y una alta calidad de las imágenes adquiridas, ya que involucran mediciones del coeficiente de retrodispersión (*backscattering*) en un rango de variación muy pequeño. Es decir, requieren la utilización de sistemas satelitarios con sensores SAR precisamente calibrados y con una estabilidad radiométrica alta y duradera.

De lo descripto arriba, se desprende la importancia de aplicar procedimientos de correcciones radiométricas y geométricas antes de utilizar los datos SAR. En este trabajo son de particular interés los correspondientes a los datos obtenidos por el sistema RadarSat/SAR. Algunos de estos procedimientos son las correcciones por efectos de pérdidas de potencia en rango y por modelo de antena. Generalmente los productos RadarSat que están disponibles ya tienen aplicadas las correcciones debidas a estos efectos, y por lo tanto estos procedimientos son transparentes al usuario. Sin embargo, hay otros efectos que deben ser tratados por el usuario tales como el ruido *speckle*. La reducción de estas distorsiones radiométricas y de las geométricas conforma la etapa de preprocesamiento de la imagen. Además, los datos deben ser calibrados para poder relacionar los valores digitales de cada pixel con los valores correspondientes del coeficiente de retrodispersión  $\sigma^0$ . En relación con las correcciones geométricas, dado que la zona de estudio no posee diferencias importantes de elevación, no es necesario la utilización de un modelo de terreno para realizar una ortorectificación. Por lo tanto sólo se ha tenido en cuenta el efecto de la interpolación radiométrica en el proceso de remuestreo. Una de las consecuencias de la aplicación de procedimientos de pre-procesamiento es que los datos sufren ciertas modificaciones. Es decir, en algunos casos esta modificación puede facilitar la posterior utilización de los datos y en otros puede agregar artefactos o producir una disminución de la resolución y de la calidad radiométrica de las imágenes.

Por consiguiente, para facilitar la interpretación de las imágenes RadarSat del Bajo Delta del Río Paraná se planteó un enfoque metodológico de preprocesamiento a fin de comprender, en la señal de radar retrodispersada, los efectos debidos a las características del sistema y de su tratamiento (distorsiones radiométricas y geométricas). Se discuten además los procedimientos de calibración, de reducción de ruido *speckle* y de corrección geométrica de las imágenes SAR/Radarsat de esta zona, se analiza cualitativamente y cuantitativamente el comportamiento de varios filtros y se describen las distintas representaciones del coeficiente de retrodispersión y su utilización en cada etapa del tratamiento.

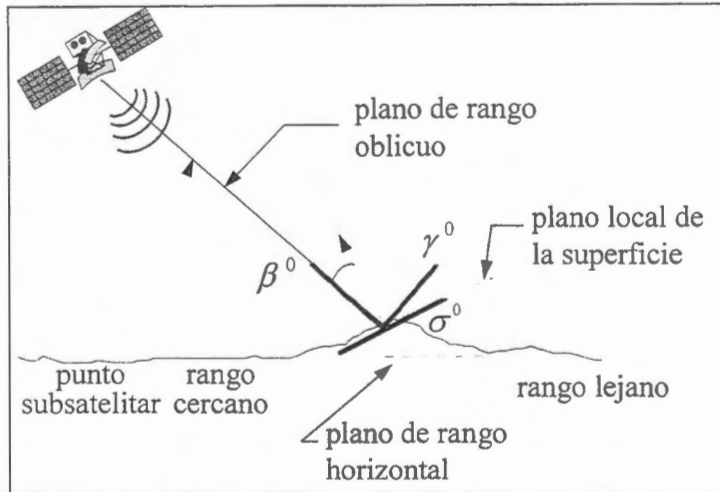
### **Mediciones que realiza el radar**

La relación fundamental entre las características del radar, el objeto y la señal recibida está dada por la ecuación del radar (Ulaby *et al.* 1982). En este sentido, la potencia ( $P$ ) que recibe la antena (y que es la magnitud directamente medida por el sensor) está relacionada con el coeficiente de retrodispersión ( $\sigma^0$ ). Por otra parte la teoría electromagnética explica que la intensidad de una onda electromagnética ( $I$ ) es proporcional al flujo promedio de energía por unidad de tiempo (potencia), o sea al valor cuadrático medio del campo eléctrico. Entonces la potencia es proporcional al cuadrado de la amplitud de la onda ( $A^2$ ). Además, las antenas de radar detectan la intensidad del brillo que los objetos reflejan en una longitud de onda particular. Por lo tanto la potencia recibida es proporcional al brillo del objeto ( $\beta^0$ ), quien además está relacionado con  $\sigma^0$  y con la reflectividad media de blancos distribuidos por

unidad de área del frente de onda incidente ( $\gamma^0$ ). Todo esto se representa en la Figura 1 y puede sintetizarse en las siguientes relaciones:

$$P \propto I \propto A^2 \propto \beta^0 = \frac{\sigma^0}{\sin(\alpha)} = \frac{\gamma^0}{\tan(\alpha)} \quad (1)$$

donde  $\alpha$  es el ángulo de incidencia local.



**Fig. 1:** Relaciones entre la magnitud directamente medida por el radar y las magnitudes relacionadas.

Por otra parte es muy importante considerar la diferencia que existe entre  $\beta^0$ ,  $\gamma^0$  y  $\sigma^0$ . La primer magnitud representa la observación del radar en su forma más pura. Es decir  $\beta^0$  está relacionada con la reflectividad media de centros dispersores distribuidos por unidad de área del plano de rango oblicuo y no se requiere información acerca del ángulo de incidencia local. La segunda magnitud,  $\gamma^0$ , es la reflectividad media de centros dispersores distribuidos por unidad de área del frente de onda incidente, requiere el conocimiento del ángulo de incidencia local y tiene la ventaja de mantener relativamente constante su valor en un amplio rango de ángulos de incidencia para el caso de superficies rugosas. La tercera magnitud,  $\sigma^0$ , describe la reflectividad promedio de centros dispersores distribuidos por unidad de área en el plano de la superficie terrestre. Se trata de la propiedad intrínseca a ser observada y requiere del conocimiento del ángulo de incidencia local.

La ecuación (1) indica que el coeficiente de retrodispersión  $\sigma^0$  es proporcional a la potencia  $P$ , y se lo refiere comúnmente como la representación de  $\sigma^0$  en potencia. La raíz cuadrada de  $\sigma^0$  es proporcional a la amplitud  $A$ , y se refiere como la representación de  $\sigma^0$  en amplitud ( $\sigma^0_A$ ). Además  $\sigma^0$  se puede expresar en forma logarítmica, es decir en decibeles ( $\sigma^0_{dB}$ ). Esta última representación es útil puesto que la reflectividad del radar tiene un rango dinámico que puede alcanzar varios órdenes de magnitud en potencias de diez. Sin embargo, es importante tener en cuenta que cada etapa de preprocesamiento requiere de una representación específica de  $\sigma^0$ . La relación entre las magnitudes mencionadas es:

$$\sigma^0_{dB} = \begin{cases} 10 \log_{10}(\sigma^0) \\ 20 \log_{10}(\sigma^0_A) \end{cases} \quad (2)$$

#### Conjunto de datos utilizados

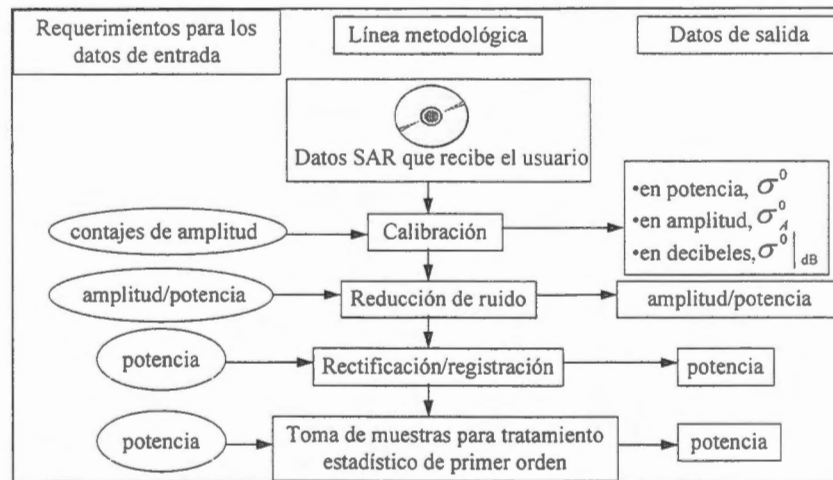
Para este trabajo se utilizaron imágenes Radarsat en modos S1 y S6 correspondientes al verano del año 1997 y una imagen S1 de invierno del mismo año. En forma adicional a las imágenes de radar se dispuso de imágenes Landsat 5-Thematic Mapper facilitadas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) y de fotos aéreas pancromáticas. Además, se contó con datos de altura del nivel del agua del Puerto de Buenos Aires provenientes de los registros del Servicio de Hidrografía Naval. Estos fueron utilizados como indicadores del estado de las condiciones de marea para la fecha de la toma de imágenes. También se obtuvieron datos sobre vientos (intensidad y dirección) y cantidad de precipitación caída para las mismas fechas. Se utilizó esta información para evaluar la influencia de las condiciones climáticas sobre la señal de radar retrodispersada para cada uno de los ambientes considerados y para la imagen en conjunto.

### Características de la zona de estudio que determinan el pre-procesamiento

Los patrones de paisaje del Bajo Delta del Río Paraná están definidos por la coexistencia de elementos naturales con otros derivados de la intervención del hombre. Todos estos ambientes son inundables en mayor o menor medida. Entre los ambientes naturales pueden mencionarse bosques correspondientes a altos relativos o medias lomas y, en situaciones de bajo, pajonales y juncales donde el sustrato se encuentra saturado o inundado por prolongados períodos de tiempo o en forma permanente. Aproximadamente el 30% de la superficie representada originalmente por estos ambientes está ocupada en la actualidad por plantaciones de sauce y álamo las cuales constituyen la principal actividad productiva del delta (Kandus *et al.* 1998). A los fines del radar, se trata de una zona compleja donde la señal retrodispersada contiene tanto elementos estructurales del paisaje como eléctricos debido a la presencia permanente de agua como sustrato de las distintas unidades de paisaje.

### Preprocesamiento, procesamiento y manejo de datos SAR

La figura 2 resume la línea metodológica planteada para el pre-procesamiento de datos SAR y la extracción de información teniendo en cuenta las características de las imágenes Radarsat, la zona de estudio y los objetivos de este trabajo. Se indica, además, la magnitud requerida como entrada a cada procedimiento.



**Fig. 2:** Línea metodológica desarrollada para el preprocesamiento y extracción de información de datos SAR.

#### Calibración

Este tipo de procedimientos dependen del procesador del sistema satelital considerado (en este caso, Radarsat) (Srivastava y Hawkins 1997). A nivel del usuario, se utilizan especialmente a fin de convertir los valores de amplitud de cada pixel (expresados en contajes digitales) a valores de coeficiente de retrodispersión o de brillo. Se trata de un procedimiento necesario para estudios multitemporales y/o multiángulo (como en este caso). La ecuación utilizada para el sistema Radarsat es:

$$\sigma^0 = [(DN^2 + A_0)/A] \sin \alpha \quad (3)$$

donde DN representa los valores de la imagen de amplitud expresados en contajes digitales,  $A_0$  es una constante y A es una tabla de reescalado dependiente de la posición en rango. Los archivos de encabezamiento de las imágenes contienen los valores de estos coeficientes de calibración o datos adecuados para su obtención. Si bien es posible calcular  $\sigma^0$  para cada pixel, su valor tiene significado físico cuando se promedia sobre un grupo de píxeles correspondientes a un blanco distribuido en la imagen. Se utilizó el *software* PCI para llevar a cabo la calibración de las imágenes.

### Reducción de speckle

Es posible reducir el efecto del ruido *speckle* aplicando técnicas de filtrado a las imágenes SAR de varios *looks*. Si bien existen distintos tipos de filtros (Frost *et al.* 1982, Kuan *et al.* 1987), el mayor problema de los métodos se encuentra en la estimación de los valores de los parámetros de entrada de los distintos algoritmos: el tamaño de la ventana móvil, el desvío estándar del *speckle* y el factor de *damping*. La selección de estos parámetros depende en gran medida de las características del área de estudio. Regiones con grandes variaciones en los tonos de gris muestran detalles finos en la imagen, por lo tanto es preferible que la ventana sea pequeña. Por el contrario, para zonas homogéneas, donde casi no existen variaciones en los tonos de gris, una ventana de mayor tamaño es preferible a fin de mantener la homogeneidad de la imagen (Li 1988, Cortese *et al.* 1994). Por otro lado, la textura de regiones homogéneas proviene del ruido *speckle* y por lo tanto, contiene información relacionada con el desvío estándar del mismo. La identificación, en la imagen original, de este tipo de regiones es el primer paso para estimar el desvío estándar del *speckle*. Finalmente, aquellos filtros que incluyen el factor de *damping* permitan garantizar características adaptivas. El uso de valores de *damping* grandes preserva los bordes mejor, pero reduce el efecto de suavizado. Por el contrario, la utilización de valores pequeños de *damping* aumenta el efecto de suavizado, pero no mantiene los bordes de forma correcta (Schreier 1993). Como se indica en la figura 2, el tipo de representación de  $\sigma^0$  para la entrada/salida del filtro puede ser en amplitud o en potencia dependiendo del tipo de filtro y del diseño del *software*.

Se evaluó el comportamiento, para la zona de estudio, de cuatro filtros específicos para reducción de *speckle*: Enhanced Frost, Gamma Map, Kuan y Frost. Se utilizaron criterios cualitativos tales como la comparación visual de las imágenes filtradas con respecto a la original y el análisis de transectas para la evaluación de la degradación de las pendientes. Por otro lado se utilizaron criterios cuantitativos basados en la estadística de las imágenes filtradas y original, tales como la conservación del valor medio, la reducción de la desviación estándar y el valor medio de la diferencia absoluta entre la imagen original y las filtradas. La figura 3 muestra la diferencia entre el valor medio de la imagen filtrada y el valor medio de la imagen original para cada uno de los cuatro filtros, la figura 4 muestra el desvío estándar correspondiente a cada filtro y la figura 5 el valor medio de la diferencia absoluta entre la imagen original y la resultante de cada filtro.

### Correcciones geométricas

Previamente a la extracción cuantitativa de información de las imágenes, fue necesario corregirlas geoméricamente a una dada proyección geográfica. De esa manera fue posible la superposición de las distintas imágenes entre sí y la ubicación en las mismas de muestras tomadas en el terreno. Las correcciones geométricas, ya sea utilizando un modelo digital de terreno a fin de obtener una orto-imagen o una corrección polinomial asumiendo una superficie plana, involucran la utilización de técnicas de remuestreo que a su vez incluyen la aplicación de interpolaciones radiométricas entre píxeles vecinos. La ecuación de radar generalizada para blancos extendidos calcula la potencia recibida mediante una suma ponderada (en el límite, una integral) involucrando valores de  $\sigma^0$  sobre incrementos de área relevantes. Si se amplía este concepto, la magnitud más adecuada para la interpolación radiométrica en el procedimiento de remuestreo es  $\sigma^0$  en potencia. Resulta obvio que si el método de interpolación utilizado es el del vecino más próximo, el resultado será el mismo cualquiera sea el tipo de representación utilizada para  $\sigma^0$ . En relación con los métodos de remuestreo, es conveniente considerar lo siguiente: 1) el método del vecino más próximo mantiene la estadística global pero cambia la textura local, 2) la interpolación bilineal degrada la resolución, y 3) la convolución cúbica o un kernel *sinc* apuntan a mantener la fidelidad en los valores y texturas locales. Por lo tanto, se recomienda este último método.



La zona de estudio no posee diferencias importantes de elevación por lo que no es necesario la utilización de un modelo de terreno para realizar una ortorectificación. El análisis de las amplitudes y gráficos de dispersión de los vectores de errores residuales para los puntos de control mostró una distribución prioritaria en el sentido del rango cuando se suponía polinomios de grado 1. Esto indica una deformación residual en la dirección del rango mayor que en la dirección de azimut. Este efecto desaparece cuando se selecciona un polinomio de grado 2. El análisis de los valores de posicionamiento geográfico presentes en el *header* de las imágenes muestra iguales resultados, siendo más importante el efecto para el modo S1, lo cual concuerda con lo esperado.

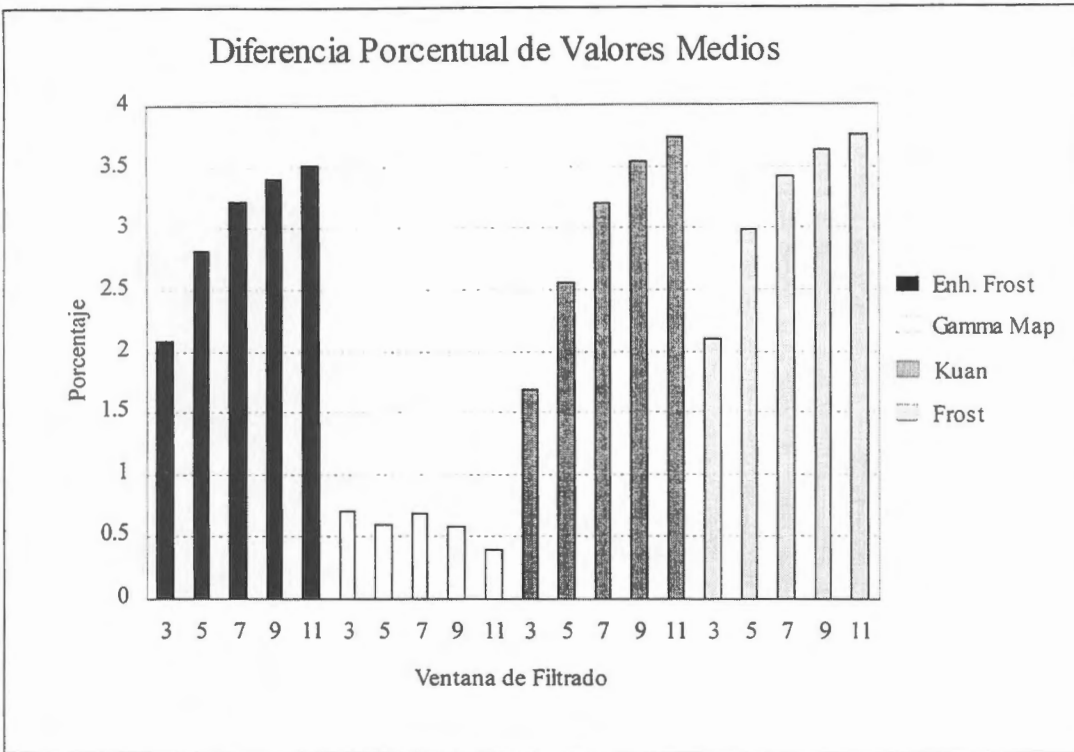
Por lo dicho anteriormente, se empleó una corrección mediante remuestreo por convolución cúbica de la imagen calibrada en potencia utilizando una transformación polinómica de grado dos, obtenida a partir de la toma de puntos de control. Se utilizó como referencia una imagen TM georeferenciada a una proyección Gauss-Kruger con un tamaño de pixel de 28.5 metros. Las imágenes se rectificaron a un tamaño de pixel de 14.5 m. Los errores *r.m.s.* obtenidos estuvieron comprendidos entre 20 y 40 metros.

### **Resultados y conclusiones**

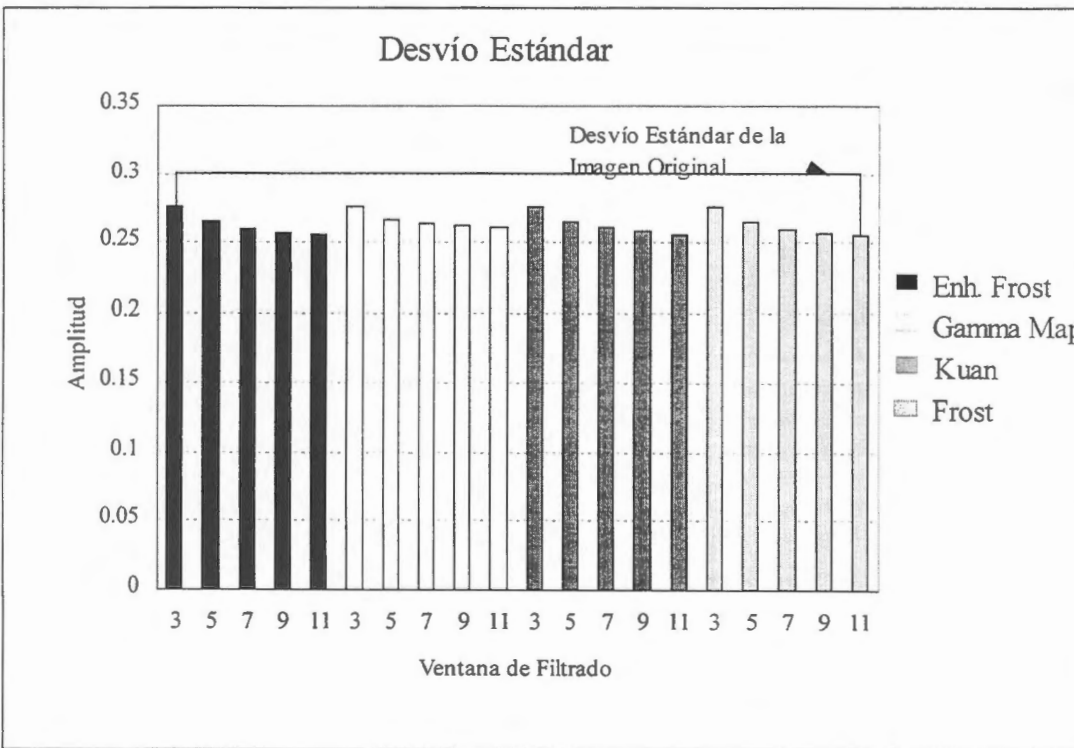
De la figura 3 se observa que el filtro que mejor conserva el valor medio es el Gamma Map, presentando diferencias menores al 0.75 % con respecto al valor medio de la imagen original para cualquier tamaño de ventana. Los demás filtros presentan diferencias que oscilan aproximadamente entre el 1.75 % y el 3.75%, aumentando con el tamaño de la ventana. El desvío estándar de las imágenes filtradas (figura 4) disminuye a medida que aumenta el tamaño de la ventana de filtrado, indicando una disminución en el contenido de información. Si bien para una dada dimensión de ventana, todos los filtros producen valores equivalentes de desvío estándar, la imagen filtrada mediante el algoritmo Gamma Map presenta valores levemente superiores, indicando una leve mejor conservación del contenido de información original. La figura 5 presenta una cuantificación de las imágenes de diferencia absoluta. El filtro Gamma Map produce las menores diferencias, y por lo tanto la menor pérdida de información. Por otra parte, el análisis de transectas mostró para el filtro Gamma Map una muy buena conservación de las pendientes.

Los resultados obtenidos llevaron a la elección del filtro Gamma Map para el tratamiento posterior de las imágenes. Debe tenerse en cuenta que esto significa que este filtro es el que mejor se comporta en el área de estudio analizada y no puede extrapolarse esta conclusión a otras regiones.

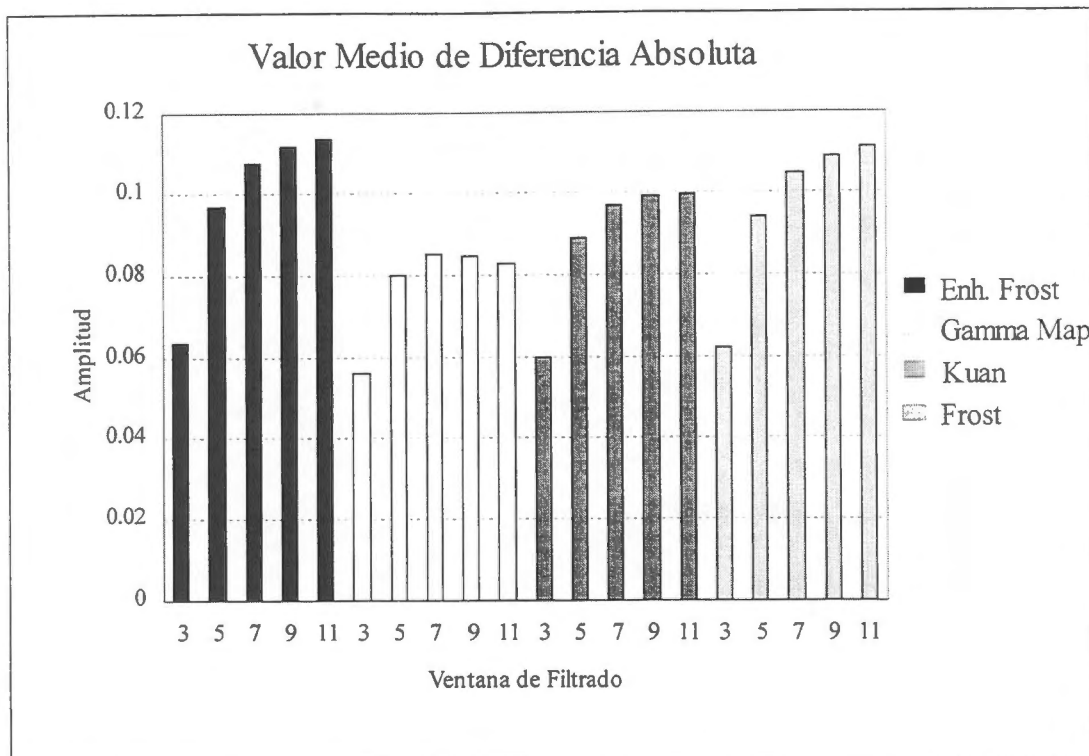
La zona de estudio carece de topografía, por lo que no es necesario utilizar un modelo de terreno para su corrección. Como ya se mencionó, teniendo en cuenta este hecho y el resultado de los análisis, las imágenes se corrigieron utilizando polinomios de orden 2 y remuestreo por convolución cúbica.



**Fig. 3:** Diferencia porcentual entre el valor medio de la imagen filtrada y el valor medio de la imagen original para los filtros de Enhanced Frost, Gamma Map, Kuan y Frost para tamaños de ventana variando desde 3x3 hasta 11x11.



**Fig. 4:** Valores de desvío estándar de las imágenes filtradas con los filtros de Enhanced Frost, Gamma Map, Kuan y Frost para tamaños de ventana variando desde 3x3 hasta 11x11.



**Fig. 5:** Valores medios de la diferencia absoluta entre la imagen original y las imágenes filtradas por los filtros Enhanced Frost, Gamma Map, Kuan y Frost para tamaños de ventana variando desde 3x3 hasta 11x11.

#### Agradecimientos

Se agradece al CONICET y a la Universidad de Buenos Aires por los subsidios que permitieron realizar esta investigación, a CONAE por los datos TM y a CCRS/RADARSAT por las imágenes de radar y el apoyo recibido.

#### Referencias

- Cortese, A., L. A. Frulla, J. Jacobo-Berlles, M. Mejail y A. Frery, 1994. On the optimization of speckle filtering techniques for ERS-1 SAR images over Argentina. *Proceedings of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*. Symposium on Resource and Environment Monitoring, Rio de Janeiro, Brazil, 26-30 Septiembre, Vol. 30, Part 7a, 95-99.
- Frost, V. S., J. A. Stiles, K. S. Shanmugan y J. C. Holtzman, 1982. A model for radar images and its application to adaptive digital filtering of multiplicative noise. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, PAMI-4, 157-165.
- Kandus, P., H. Karszenbaum y L. A. Frulla. Land cover classification system for the Lower Delta of the Paraná River (Argentina): Its relationship with Landsat Thematic Mapper spectral classes", 1997. Aceptado para su publicación en *Journal of Coastal Research* (USA),.
- Kandus, P., H. Karszenbaum, L. A. Frulla. y J. A. Milovich, 1998. Imágenes SAR/RadarSat Globesar 2 del Bajo Delta del río Paraná, Argentina. Parte II: Características de la señal retrodispersada. Estos Proceedings.
- Kuan, D. T., A. A. Sawchuck, T. C. Strand y P. Chavel, 1987. Adaptive restoration of images with speckle. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, ASSP-35, 373-383.
- Li, Ch., 1988. Two adaptive filters for speckle reduction in SAR images by using the variance ratio. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 9, 641-653.
- Pereira de Farias Costa, M., E. M. L. M. Novo, F. J. Ahern, 1997. Integração de dados de radar adquiridos com diferentes ângulos de incidência para estudos de reservatório na Amazônia. *ESA Publications SP-407*, 125-131.
- Schreier, G. (Editor), 1993. *SAR Geocoding: Data and systems*. Germany: Wichmann, pp. 437.
- Srivastava, S. y B. Hawkins (Local organizers), 1997. Proceedings of a Workshop on RADARSAT data quality, St. Hubert, Quebec, Canada.

Ulaby, T., R. K. Moore, A. K. Fund, 1982. *Microwave remote sensing. Active and passive*. Vol. 1 and 2  
(New York: Addison-Wesley Publishing Company).

## IMÁGENES SAR/RADARSAT GLOBESAR 2 DEL BAJO DELTA DEL RÍO PARANÁ, ARGENTINA. PARTE II: CARACTERÍSTICAS DE LA SEÑAL RETRODISPERSADA.

**P. Kandus (1), H. Karszenbaum (2), L. Frulla(2) y J. Milovich(2)**

(1) Laboratorio de Ecología Regional, Departamento de Biología - Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Universidad de Buenos Aires (UBA) Ciudad Universitaria, Pab. II 4to.piso. (1428) Buenos Aires, Argentina. E-mail: pato@biolo.bg.fcen.uba.ar

(2) Consejo Nacional de Actividades Científicas y Técnicas (CONICET)  
Julián Alvarez 1218  
1414 Buenos Aires, Argentina  
phone (54-1) 772-1471 fax: 54-1 776 0410

### RESUMEN

El Bajo Delta del Río Paraná constituye un extenso humedal de agua dulce situado en las cercanías de la ciudad de Buenos Aires. Su régimen hidrológico está caracterizado por las mareas lunares y eólicas del Río de la Plata y por la influencia de los regímenes de los ríos Paraná y Uruguay. Está constituido por islas que presentan albardones perimetrales y una porción interior deprimida lo cual se traduce en gradientes locales de inundabilidad. En estas islas coexisten ambientes naturales y elementos antrópicos.

A fin de estudiar esta región se procedió a la definición de un esquema conceptual de clasificación basado en el régimen hidrológico, en el grado de intervención antrópica y en aspectos florísticos de los ambientes presentes. Con el objeto de obtener un mapa de vegetación de esta región se utilizaron imágenes Landsat/TM multitemporales y se desarrollaron procedimientos de clasificación progresiva utilizando el ciclo fenológico de la vegetación en la selección de las imágenes y las características espectrales de los distintos ambientes en el proceso de codificación de clases. Dichos procedimientos contaron para su ejecución con el apoyo de trabajo de campo y fotografía aérea. Esto involucró la toma de numerosas muestras correspondientes a cada uno de los ambientes presentes y permitió la determinación de los perfiles espectrales pertinentes.

Este trabajo, presenta los procedimientos utilizados para el estudio de esta zona con imágenes de radar del sistema RADARSAT y datos auxiliares. El objetivo general fue analizar la interacción entre distintos elementos (ambientes) presentes en esta región y el radar en términos de las características propias del sensor y de la escena. Se tomó como base para el análisis imágenes de distintos ángulos de incidencia (S1 y S6) y distintas fechas (verano e invierno) a fin de estudiar los distintos ambientes para diferentes condiciones de observación. El procedimiento utilizado se basó en la obtención y análisis de las estadísticas de primer orden de un conjunto numeroso de muestras (de cada ambiente) identificadas en cada una de las imágenes disponibles. Los resultados obtenidos, si bien describen y también sugieren los mecanismos de interacción observados, también muestran que esta zona tiene características tales (eléctricas y geométricas) que dificultan la identificación de ambientes y su separabilidad en las imágenes de radar consideradas. Se presentan como conclusiones algunos argumentos que permiten explicar los diferentes grados de confusión observados. También se discute la importancia de continuar el análisis con criterios estadísticos de segundo orden, con combinación de datos ópticos y de radar y con imágenes de radar adicionales (otros modos).

### Introducción

El Bajo Delta del Río Paraná constituye un extenso humedal situado próximo a zonas densamente pobladas entre ellas la Ciudad de Buenos Aires. Los humedales pueden ser definidos como interfases entre sistemas terrestres y acuáticos donde el régimen hidrológico juega un papel preponderante en la determinación de las características de los suelos, tipos de vegetación y procesos tales como el ciclo de nutrientes y flujos de materia y energía dentro y entre los ecosistemas que conforman el paisaje. Los humedales presentan el suelo inundado o saturado con agua durante algún período de tiempo del año que puede ser más o menos prolongado.

Las características singulares de las islas del delta del Río Paraná llevaron a la definición de un esquema conceptual de clasificación de elementos de paisaje propio, basado en características estructurales y funcionales. Este esquema, si bien particular es comparable con esquemas elaborados para otros humedales y fue utilizado satisfactoriamente para la realización de un mapa temático de uso y cobertura de este delta a

partir de imágenes multitemporales Landsat/TM. La exactitud total del mapa elaborado fue del 83.8% (Índice Kappa: 0.82) (Kandus et al, 1997).

Distintas publicaciones (Pereira de Farias Costa *et al*, 1997, Pultz y Mullins, 1993) muestran el aporte que las imágenes de radar brindan en aplicaciones hidrológicas y donde existe una combinación de unidades vegetales con un sustrato cubierto parcial o totalmente por agua. También estos trabajos señalan la importancia de combinar distintos ángulos de incidencia para facilitar la interpretación y la extracción cuantitativa de información. Estos antecedentes junto con el interés que el Delta ofrece como sistema productivo (plantaciones forestales) y como sistema natural (diversidad biológica y medio físico) condujo a la obtención de información SAR/Radarsat a través de los proyectos GLOBESAR2.

En este marco, los objetivos de este trabajo apuntan a:

- Analizar la capacidad del radar de discriminar entre elementos de paisaje naturales y antrópicos.
- Identificar la influencia de las condiciones hidrológicas, meteorológicas y el efecto de la actividad antrópica en la señal retrodispersada.
- Determinar la influencia del ángulo de incidencia en la señal retrodispersada correspondiente a las distintas coberturas seleccionadas.

Para el logro de estos objetivos, se propone un esquema conceptual de clasificación basado en tres ambientes principales que involucran geometrías bien diferenciadas. A continuación se analizan las imágenes (previamente calibradas y geolocalizadas) tomando como base las geometrías propuestas y utilizando procedimientos estadísticos de primer orden. Las secciones siguientes describen en detalle el área de estudio, el conjunto de procedimientos desarrollados, la discusión de los resultados y las conclusiones obtenidas.

#### **Area de Estudio**

Las islas del Bajo Delta del Río Paraná se encuentran en la porción final de este río, cuando se abre en dos distributarios principales, el Paraná Guazú y el Paraná de las Palmas. Esta región abarca una superficie aproximada de 2.700 km<sup>2</sup>. Las islas conforman un delta en fase de crecimiento sobre el estuario del Plata (Figura 1) (Iriondo y Scotta, 1979 ; Parker et al. 1992). A su vez, desde un punto de vista ecológico esta zona puede ser definida como un extenso humedal costero sujeto a mareas de agua dulce. Esto se debe a que si bien el régimen hidrológico está influenciado por las crecientes estacionales del Río Paraná, todo el área se ve afectada por el régimen de mareas lunares (dos pleamares diarias) y eólicas del Río de la Plata. Estas mareas, según el sector que se analiza pueden variar la altura del agua en término de horas con amplitudes desde pocos centímetros hasta 2,5 metros (Iriondo y Scotta, 1979).

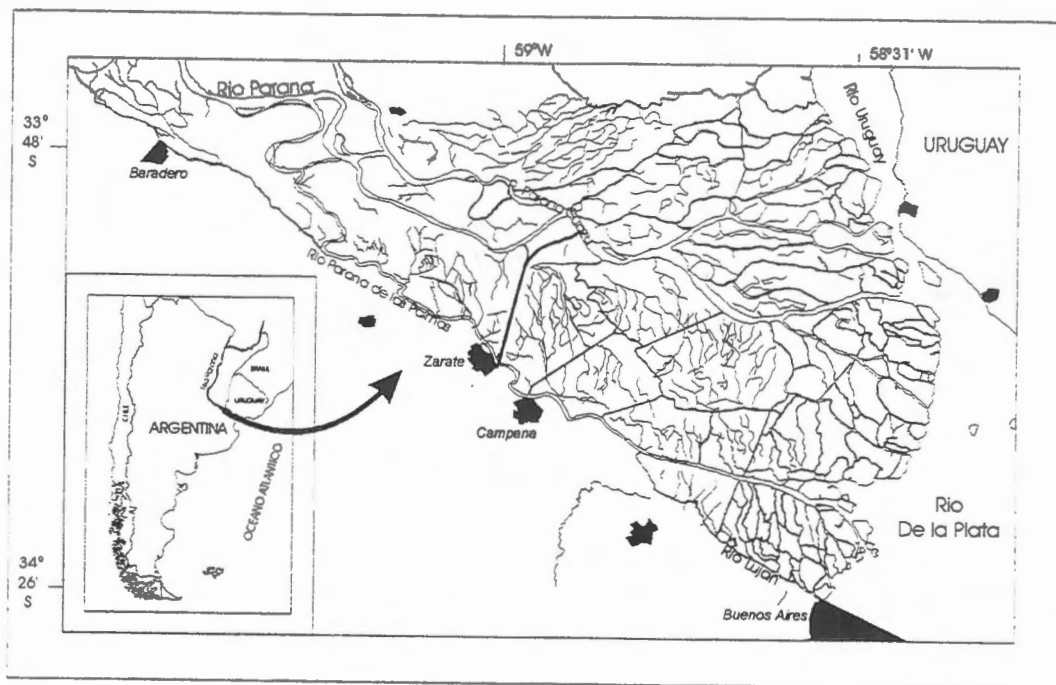
El clima es templado con lluvias todo el año con temperaturas mínimas medias alrededor de 6°C y máximas medias de 30°C. Entre los meses de junio y agosto se registran heladas.

Los patrones de paisaje están definidos por la coexistencia de elementos naturales con otros derivados de la intervención del hombre. Todos estos ambientes son inundables en mayor o menor medida. Entre los ambientes naturales pueden mencionarse bosques correspondientes a altos relativos o medias lomas y, en situaciones de bajo, pajonales y juncales donde el sustrato se encuentra saturado o inundado por prolongados períodos de tiempo o en forma permanente. Aproximadamente el 30% de la superficie representada originalmente por estos ambientes está ocupada en la actualidad por plantaciones de sauce y álamo las cuales constituyen la principal actividad productiva del delta (Kandus, 1997). El sustrato de estos ambientes se encuentra drenado artificialmente debido al trazado de zanjas y canales o mediante endicamientos que impiden la entrada de agua a las plantaciones.

Desde el punto de vista fenológico, la mayor parte de los ambientes naturales están dominados por plantas perennes con excepción de los bosques de seibo (*Erythrina crista-galli*) que son caducifolios. En cuanto a las especies plantadas por el hombre, tanto sauces como álamos también pierden sus hojas en el período invernal. Finalmente, los bosques derivados de procesos de sucesión secundaria están dominados por especies perennifolias, aunque en menor medida también existen tipos caducifolios.



**Figura 1.** Islas del Bajo Delta del Río Paraná. Ubicación en Argentina.



## Metodología

### Conjunto de datos utilizados

Este trabajo se ha desarrollado dentro del marco de los proyectos GLOBESAR 2 y se ha contado con imágenes SAR/Radarsat de los modos S1, S6 y F2 correspondientes al verano del año 1997 y una imagen S1 de invierno del mismo año. En forma adicional a las imágenes de radar se dispuso de imágenes Landsat-Thematic Mapper facilitadas por la Comisión de Actividades Espaciales (CONAE) y de fotos aéreas pancromáticas (Cuadro 1). Además, se contó con datos de altura del nivel del agua del Puerto de Buenos Aires provenientes de los registros del Servicio de Hidrografía Naval. Estos fueron utilizados como indicadores del estado de las condiciones de marea durante la fecha de la toma de imágenes. También se obtuvo información sobre vientos (intensidad y dirección) y cantidad de precipitación caída para las mismas fechas.










**Cuadro 1.** Datos disponibles

Tipo	Fecha	Características
Mapa temático de ambientes	Diciembre 1997	Obtenido a partir de procedimientos de clasificación digital de imágenes Landsat-TM.
TM	Marzo 7/1997	todas las bandas (1-7)
SAR/Radarsat	Febrero 16/1997 Marzo 16/1997 Agosto 7/1997	modo C, HH S6 (41-46 degrees) modo C, HH S1 (20-27 degrees) modo C, HH S1 (20-27 degrees)
Fotos aéreas	1989 - 1990	escala 1:20000 y 1:100.000 pancromáticas
Trabajo de campo	1994 - 1997	censos de vegetación y suelo por ambiente
Nivel del agua	igual fecha que las imágenes	Puerto de Buenos Aires
Datos meteorológicos	✓	Ciudad de Buenos Aires

### Esquema de clasificación conceptual

Con el objeto de estudiar y obtener resultados cuantitativos de los ambientes de la región a partir de las imágenes de radar se hace necesario reducir la heterogeneidad natural del área en un número finito y manejable de clases. Además, es necesario tener en cuenta que la escala espacial a utilizar debe ser coherente con el sistema bajo análisis. De esta forma se partió de un esquema de clasificación conceptual basado en tres situaciones principales que involucran geometrías bien diferenciadas: bosque, pajonal y juncal. Cada una de estas fisonomías fueron subdivididas a su vez en ambientes particulares de acuerdo a sus características específicas, relacionadas con aspectos estructurales de la vegetación, tanto naturales como derivadas de la acción del hombre. Estas categorías se encuentran, además, sujetas a diferentes niveles de inundabilidad. El Cuadro 2 presenta de forma esquemática las clases a analizar y sus características principales.

**Cuadro 2.** Características estructurales y grado de inundabilidad de los ambientes estudiados. En línea punteada se indica el nivel de agua.

Fisonomías	Bosque			Pajonal		Juncal			
Ambientes	Plantación de sauce	Bosque secundario de albardón	Bosque de seibo	Pajonal de cortadera	Pradera de herbáceas mixtas	Juncal de bancos	Juncal	Juncal quemado	Lagunas
Esquema									
Inundabilidad									
Fenología de especies dominantes	caduca	perenne	caduca	perenne	perenne	perenne	perenne y anual	perenne	perenne y anual
Especie dominante	<i>Salix</i> spp.	<i>Ligustrum</i> spp.	<i>Erythrina cristagalli</i>	<i>Scirpus giganteus</i>	varias	<i>Scirpus californicus</i>	✓	✓	✓
Cobertura de la vegetación [%]	80	100	> 60	100	80	< 60	> 60	< 5	< 50
Altura de la vegetación [m]	> 10	5 - 10	5	1,5	< 1,5	2 - 2,5	2 - 2,5	-----	variable

### Datos ambientales

Como lo muestra el Cuadro 2, los distintos ambientes a analizar se caracterizan por presentar distintos grados de inundabilidad. Desde el punto de vista de la señal de radar, esto significa que la señal no sólo contiene información sobre las geometrías sino también sobre las características eléctricas (presencia de agua). Si bien es cierto que con una sola banda (C) y un sólo modo de polarización (HH) no es posible discriminar características geométricas de las eléctricas, es importante conocer las condiciones de nivel de agua que caracterizan cada una de las imágenes estudiadas. Estos datos constituyen una contribución importante en la interpretación final de los resultados obtenidos. Con este propósito, para cada imagen se analizó el estado de las condiciones meteorológicas (precipitaciones y vientos) y del nivel del agua en el Puerto de Buenos Aires. Se utilizó esta información para evaluar la influencia de estas condiciones sobre la señal de radar retrodispersada de cada uno de los ambientes considerados y de la imagen en conjunto.

Con respecto a las variables climáticas, no se registraron precipitaciones en el área de estudio ni durante el día de la toma de las imágenes ni en los días previos. Durante esas fechas se registraron vientos moderados o situaciones de calma. Con respecto a los niveles de agua, estos fueron relativamente semejantes y próximos al nivel medio del puerto para las dos fechas del modo S1. En cambio en la fecha correspondiente

al modo S6 el nivel del agua se encontraba muy por debajo de la media. Es decir, de las tres imágenes, dos de ellas (los modos S1) presentan condiciones de nivel del agua muy próximas al valor medio y muy similares entre sí, no así el modo S6 en el que el nivel del agua es bastante inferior al valor medio.

#### **Extracción de información cuantitativa de las imágenes de radar**

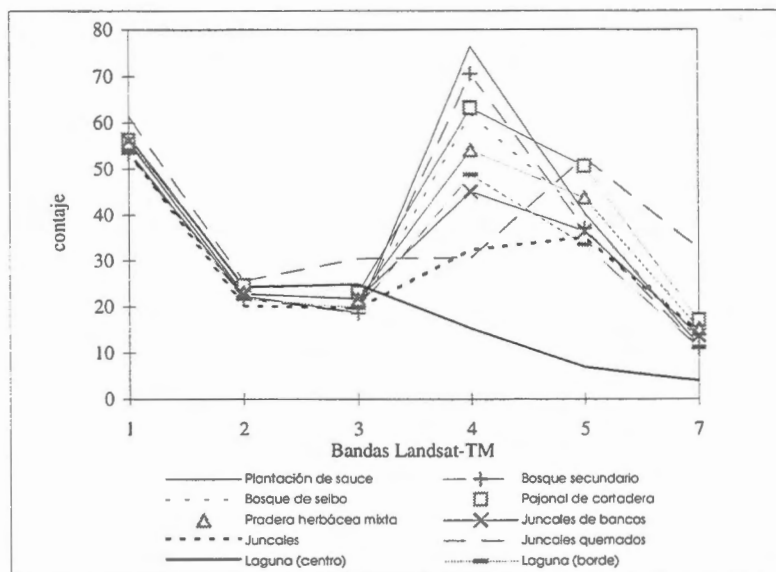
Como se ha señalado en el párrafo anterior, resulta difícil (sin datos adicionales y/o modelos) separar la contribución de las características eléctricas de las geométricas en las imágenes de radar. Uno de los enfoques posibles para el análisis de las imágenes es la cuantificación del contenido textural de las mismas. En esta etapa del proyecto GLOBESAR2 en desarrollo se puso el énfasis en este enfoque.

La textura constituye una medida de aquellas propiedades de la imagen que se relacionan con el grado de rugosidad que el medio presenta. Por definición, se trata de la distribución espacial de la variación local del tono. Contiene importante información acerca del arreglo estructural de la superficie y de la relación de éste arreglo con el entorno. En este trabajo se han utilizado estadísticas de primer orden para analizar la textura que esta zona, dadas sus características, ofrece al radar.

Para llevar a cabo el enfoque propuesto, fue necesario en primer lugar contar con imágenes calibradas y geolocalizadas (preprocesamiento). Los procedimientos respectivos se describen en Milovich *et al.*, 1998 (este volumen). A continuación se extrajeron de las imágenes preprocesadas entre 50 y 100 muestras de aproximadamente 50 píxeles cada una para cada uno de los ambientes seleccionados. Este paso se llevó a cabo sobre imágenes de potencia. Como datos de referencia se utilizaron fotos aéreas y datos de campo existentes.

A fin de asegurar que las muestras obtenidas correspondían a cada uno de los ambientes seleccionados, se trabajó sobre una imagen TM geolocalizada de marzo de 1997 (fecha de verano próxima a los modos S1 y S6) y se obtuvieron los perfiles espectrales de todas las muestras. La Figura 2 muestra estos resultados (es decir, el perfil medio característico de cada conjunto de muestras), donde se observa claramente que los tres tipos de fisonomías propuestos tienen perfiles espectrales propios. Más aún, los ambientes dentro de cada fisonomía son diferenciables.

**Figura 2.** Patrones espectrales de los ambientes correspondientes a la imagen Landsat TM del 7 de marzo de 1997.



Desde el punto de vista de las propiedades texturales, las imágenes de radar se caracterizan por la combinación de dos componentes (Laur *et al.*, 1987): a) la textura intrínseca que representa la variabilidad propia de los píxeles de la escena y b) la textura que produce el ruido speckle. A fin de utilizar las estadísticas de primer orden para determinar la textura intrínseca, se calcularon medias  $\mu$ , desvíos estándar

$\sigma$  y coeficientes de variación  $\sigma/\mu$  (indicador del grado de heterogeneidad). Es decir, si se tienen “ $m$ ” número de regiones como muestras de un ambiente dado, cada una de estas  $m$  regiones posee valores estadísticos. Es decir, para la región “ $i$ ” se conocen:  $\mu_i$ : valor medio,  $\sigma_i$ : desvío estándar y  $n_i$ : número de píxeles correspondientes a la región y también los valores máximo y mínimo alcanzados en cada muestra. Los valores estadísticos analizados fueron calculados considerando dos situaciones diferentes:

- Caso 1: Se calcularon los valores medios y los desvíos estándar de cada ambiente correspondientes al conjunto de “todos los píxeles” de “todas las muestras”. Es decir, el valor promedio resultante de cada ambiente contiene la influencia del ruido *speckle*.
- Caso 2: Se calcularon los valores medios y los desvíos estándar de cada ambiente a partir del conjunto de muestras. En este caso cada muestra es un individuo, definido por un valor medio. Los valores resultantes contendrán muy poca información debida al ruido *speckle* (ya que éste se encuentra reducido por la operación “promedio”).

Para poder analizar los resultados y a fin de poder compararlos con los obtenidos por otros autores, los valores promedio y desvío para los dos casos se convirtieron de potencia a  $\sigma^0$  (decibeles).

Finalmente, para cada muestra de cada ambiente, se calcularon también los Coeficientes de Variación. Estos valores se promediaron y se obtuvo un único valor medio para cada ambiente. A continuación se calculó el desvío estándar correspondiente.

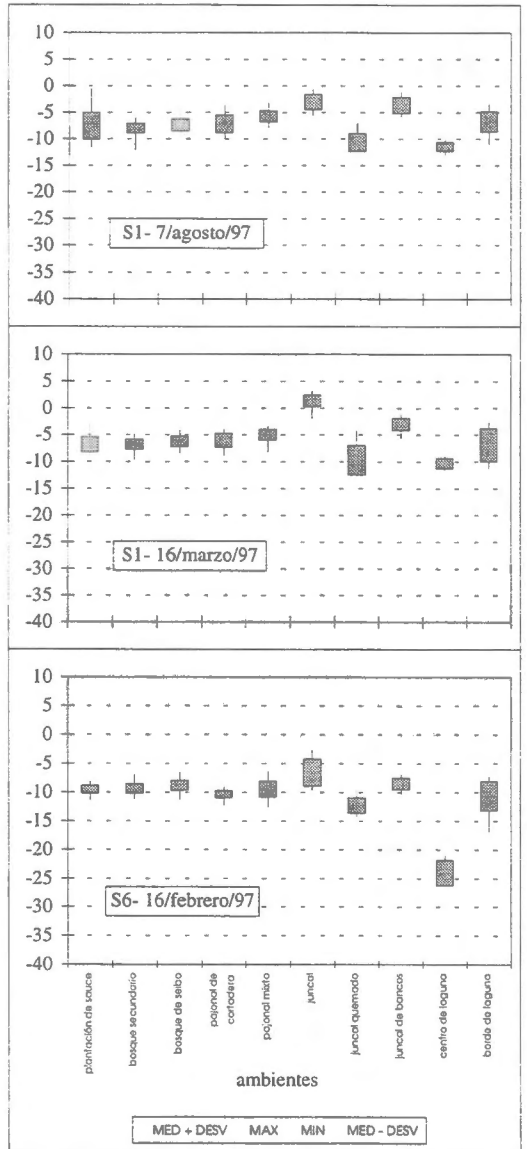
### Resultados y discusión

La Figura 3 muestra las estadísticas correspondientes a los distintos ambientes según lo descrito en la metodología como caso 2. En términos generales, se observa que los tres tipos de fisonomías propuestas tienen valores medios muy semejantes. Existe poca diferencia entre los valores de  $\sigma^0$  correspondientes a los modos S1 y S6 siendo mayores los del modo S1. A su vez, el rango de valores de  $\sigma^0$  de todos los ambientes para ambos modos es muy similar. En particular, los ambientes de bosque y pajonal no son diferenciables entre sí en ninguno de los modos utilizados y los valores de  $\sigma^0$  oscilan entre -5 y -10 decibeles. A diferencia de éstos, los ambientes de juncal presentan valores más elevados de  $\sigma^0$  para el modo S1 probablemente debido a que, al tratarse de juncos en agua quieta, estos actúan como *corner reflectors* (efecto esquina) naturales. En el caso de las lagunas, la porción central de la misma presenta valores bajos de  $\sigma^0$  debido a que la presencia de una película de agua quieta actúa como un reflector especular. El borde de las lagunas, al presentar mayor densidad de vegetación, tiene una respuesta similar a la de los otros ambientes.

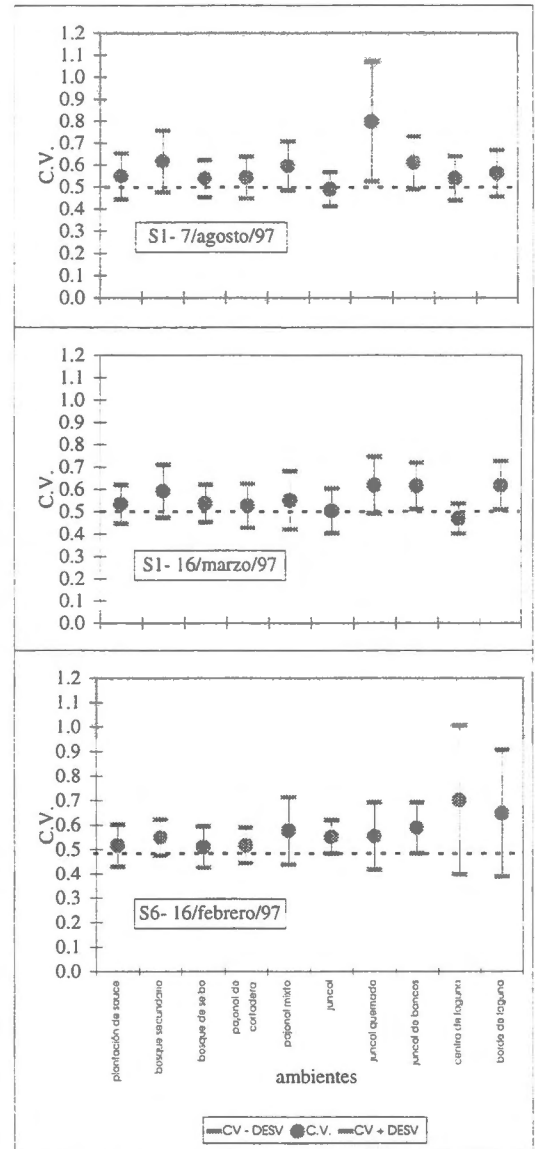
Con respecto al modo S1 los valores de marzo son mayores (mayor cantidad de biomasa verde en pie) que los de agosto. En cuanto al rango de dispersión, este varía poco entre ambas fechas. Sin embargo, cabe señalar que en el caso de las plantaciones de sauce, estas presentan mayor variabilidad en agosto, probablemente debido a que al estar los árboles sin hojas, existe una mayor influencia del sotobosque en la señal retrodispersada.

Al considerar los mismos ambientes pero de acuerdo a las estadísticas calculadas según el caso 1, se observó que el efecto del ruido *speckle* aparece bien marcado ya que aumenta de manera significativa la dispersión de los datos. Sin embargo los valores medios de  $\sigma^0$  son similares a los del caso 2.

Finalmente, se representaron los valores del coeficiente de variación para todos los ambientes y los modos considerados. La figura 4 muestra los resultados obtenidos. Esta figura también presenta el Coeficiente de Variación correspondiente a zonas homogéneas para una imagen de potencia de cuatro looks. Los valores de coeficiente de variación de todos los ambientes, tanto para el modo S1 como S6, se encuentran muy próximos al valor teórico calculado para zonas homogéneas, que es de 0,5. En aquellos casos donde se registraron valores del coeficiente de variación mayores (entre 0,6 y 0,8) éstos son indicadores de una heterogeneidad propia de cada ambiente. Sin embargo los mismos presentan una gran dispersión lo que imposibilita atribuirles una textura particular. A fin de verificar estos resultados, se procedió a calcular el coeficiente de variación para toda la imagen del modo S1 y para distintos tamaños de ventanas (5, 7 y 11) y se observó una gran homogeneidad en las imágenes resultantes. Si bien el coeficiente de variación constituye un indicador de texturas muy utilizado, en este caso, los resultados no son satisfactorios, es decir, este método de textura no aporta a la separabilidad de los ambientes.



**Figura 3.** Valores estadísticos en decibeles (db), máximo, mínimo, media y desvío estándar, de cada ambiente calculados según caso 2.



**Figura 4.** Valores de la media y desvío estándar del Coeficiente de Variación (CV) para cada ambiente. La línea de puntos indica el valor teórico para zonas homogéneas.

## Conclusiones

A pesar de que las características estructurales y el grado de inundabilidad de los ambientes estudiados son bien distintos entre sí y de que los perfiles espectrales de estos ambientes para imágenes ópticas son bien diferenciables, los resultados obtenidos con las imágenes de radar señalan lo siguiente:

- Las imágenes de radar analizadas presentan como característica general una gran homogeneidad.
- Las imágenes de los modos S1 y S6 fueron adquiridas en condiciones hidrométricas muy diferentes. Si bien esto agrega una variable más y por lo tanto dificulta la explicación sobre las diferencias, lo que se observa en las figuras es una mayor retrodispersión para el modo S1 con respecto al S6, lo cual coincide con lo que señala la teoría y con lo manifestado por otros autores para regiones similares (Pultz, *et al.*, 1993, Pereira de Farias Costa *et al.*, 1997).
- Una explicación posible de la poca contribución que el coeficiente de variación hace a la separabilidad de los ambientes es la interacción entre la resolución del sistema y las características estructurales del área de estudio. Como continuación de esta etapa de trabajo se plantea utilizar otros criterios de textura a fin de determinar aquéllos que podrían contribuir a la separabilidad de los ambientes.
- En el caso de los bosques no se observan diferencias entre los plantados y los nativos, a pesar de que los primeros presentan individuos con una distribución regular y un sustrato mejor drenado.
- Con respecto a los ambientes de juncal quemado (un fenómeno habitual en el área de estudio) es notable la gran dispersión de los valores estadísticos. En algunos casos se observan en las imágenes tonos muy altos y en otros muy bajos. La banda térmica de la imagen TM permitió confirmar que en ambos casos se trataba de juncales quemados.

Estos resultados, si bien indican las dificultades que existe para separar los ambientes de esta región en imágenes de radar, ha permitido conocer las características de la interacción señal/escena para los modos S1 y S6 y también analizar el significado de las estadísticas de primer orden en las imágenes de esta zona. Como continuación del trabajo, se plantea la utilización de criterios estadísticos de orden dos y la combinación de imágenes.

## Agradecimientos

Se agradece al CONICET y a la Universidad de Buenos Aires por los subsidios que permitieron realizar esta investigación, a CONAE por los datos TM y a CCRS/RADARSAT por las imágenes de radar y el apoyo recibido.

## Referencias

- Iriondo, M. and E. Scotta, 1979. "The evolution of the Parana River Delta". *Proceedings of the 1978 International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary*. Sao Paulo, Brasil. pp 405-418.
- Kandus P., H. Karszenbaum and L.A. Frulla. "Land cover classification system for the Lower Delta of the Paraná River (Argentina): Its relationship with Landsat Thematic Mapper spectral classes". *Journal of Coastal Research* (USA). Aceptado.
- Kandus, P., 1997. "Análisis de patrones de vegetación a escala regional en el Bajo Delta Bonaerense del Río Paraná (Argentina)". Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires. Argentina. 241pp.
- Laur H., T. Le Toan, A. Lopes, 1987. "Textural segmentation of SAR images using first order statistical parameter". *Proceedings of the IGARSS'87 Symposium*. Ann Arbor, pp 1463-1468.
- Parker, G. y S. Marcolini, 1992. "Geomorfología del Delta del Paraná y su extensión hacia el Río de la Plata". *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 47(2):243-249.
- Pereira de Farias Costa M., E. M. I. de Novo y F.J. Ahern, 1997. "Integraçao de dados de radar adquiridos com diferentes ângulos de incidência para estudos de reservatório na Amazônia". *Image Processing Techniques* ESA Publications SP-407.
- Pultz, T. J. y D. D. Mullins, 1993. "Hydrologic applications development at the Canada Centre for Remote Sensing" *Proceedings of the Canadian Society for Civil Engineering Annual Conference* pp 31-40.



# ANÁLISIS DE DATOS DE RADARSAT PARA EVALUAR EL MEDIO AMBIENTE DEL BOSQUE HÚMEDO TROPICAL DEL DARIEN – COLOMBIA

**Hernando Melo W.**

**Elena Possada V.**

Instituto Geográfico Agustín Codazzi  
Carrera 30 48-51, Bogotá, Colombia  
Fax: 368 0950 – Tel: 368 1057

## RESUMEN

La investigación se concentró en analizar la utilidad de las imágenes de RADARSAT, modo fino (F2-F5) y modo estándar (S1-S7), para identificar y separar los diferentes tipos de cobertura y uso de la tierra en ambientes tropicales.

Con base en la interpretación visual de las imágenes RADARSAT, en formato análogo, complementada con trabajo de campo, se elaboró el mapa de cobertura y uso de la tierra a nivel general y semidetallado con once y diez unidades de clasificación respectivamente. Finalmente, se llegó a la conclusión que las imágenes de radar tomadas desde el espacio son de gran utilidad para levantar y evaluar información del medio ambiente en zonas húmedas tropicales.

### 1. Introducción

El bosque húmedo tropical colombiano, presenta una amplia gama de paisajes caracterizados por su biodiversidad y complejidad ecológica; sin embargo, su conocimiento es aún deficiente debido especialmente a las condiciones climáticas (alta nubosidad, fuertes precipitaciones, presencia de bruma) que limitan el uso eficiente, como fuente de información, de los sistemas ópticos.

El radar, en aquellas regiones con condiciones atmosféricas adversas, es una excelente alternativa y/o complemento; por lo anterior, el Instituto Geográfico, en cooperación con el Centro Canadiense de Teledetección (CCRS) y la Agencia Canadiense para la Cooperación (ACDI), participa en forma activa, a través del Proyecto GlobeSAR, en el análisis de datos RadarSAT y su utilidad para evaluar el medio ambiente tropical.

Los objetivos específicos del estudio son:

- Analizar y evaluar patrones de interpretación
- Elaborar cartografía de cobertura y uso de la tierra utilizando datos RadarSAT
- Comparar la información suministrada por imágenes del modo estándar con la suministrada por imágenes del modo fino.

### 2. Área de Estudio

El área de estudio está situada en el extremo noroccidental de Colombia, región del Darién y Urabá en los departamentos de Chocó y Antioquia; entre las coordenadas 7°30' y 8°30' de latitud norte y 76°30' y 77°30' de longitud al oeste del meridiano de Greenwich. (Figura 1.)

La zona se caracteriza por la diversidad de paisajes fluviales, terrazas, colinas y deltas que dan origen a diferentes tipos de coberturas vegetales. El área está sometida a una colonización intensiva con fines agrícolas y pecuarios lo cual ha generado un acelerado proceso de degradación ambiental.



Figura 1. Mapa de ubicación de la zona

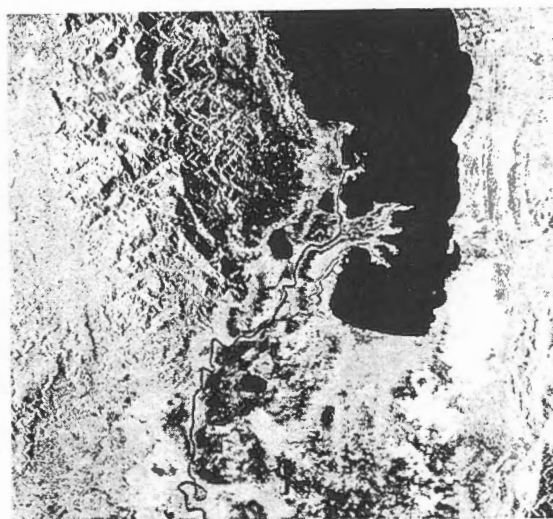


Figura 2. Imagen RadarSAT modo S7

### 3. Materiales y Métodos

#### 3.1 Materiales

Para el estudio se contó con imágenes RadarSAT (Figura 2 y 3.), fotografías aéreas, mosaicos de radar e imágenes LandSAT-TM.

- Imágenes RadarSAT-1

En esta investigación fueron utilizadas cuatro imágenes, suministradas por el Centro Canadiense de Teledetección, con las siguientes características:

Fecha	22-05-97	05-05-97	08-04-97	28-04-97
Beam mode	Fino	Fino	Standard	Standard
Beam position	F2	F5	S1	S7
Ángulo incidencia	39° - 42°	45° - 48°	20° - 27°	46° - 49°
Órbita	Descendente	Descendente	Ascendente	Ascendente

- Fotografías aéreas pancromáticas, escala 1:30.000, tomadas por el IGAC en 1983.
- Mosaicos de Radar-INTERA, escala 1:100.000
- Imagen LandSAT TM del

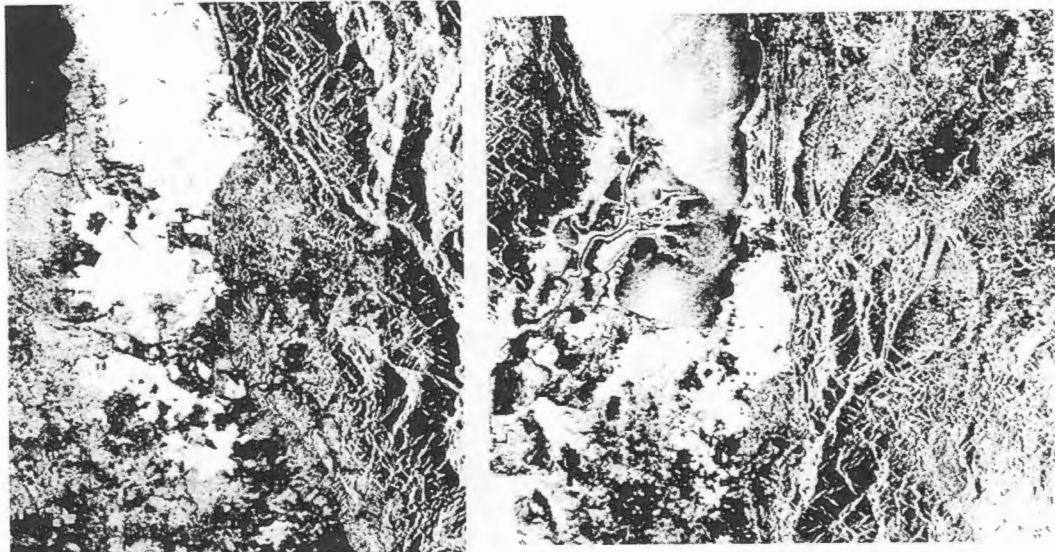


Figura 3. Imágenes RadarSAT modos F2 y F5 utilizadas en el estudio

### 3.2 Metodología

La metodología tiene como particularidad el uso intensivo de la interpretación visual complementada con trabajo de campo. Se desarrolló siguiendo básicamente los procesos que se relacionan a continuación:

- Selección de imágenes, considerando las condiciones ambientales de la zona y los objetivos de la investigación se optó por utilizar dos imágenes del modo standard (S1-S7) y dos del modo fino (F2-F5).
- Elaboración de patrones de interpretación; empleando criterios de interpretación similares a los de la fotointerpretación clásica (tono, textura, patrón, forma y tamaño) y teniendo en cuenta las características propias de las imágenes RadarSAT (ángulo de incidencia, características geométricas), complementando, con el uso de fotografías aéreas, se elaboró la guía para interpretar la cobertura y el uso de la tierra (Tabla 1).
- Estructura de la leyenda; para que la interpretación fuera sistemática y coherente, se organizó una leyenda teniendo en cuenta las características de la zona y los objetivos del estudio.
- Proceso de interpretación; la delineación y clasificación de los diferentes tipos de coberturas y usos de la tierra, se basó en el análisis de los rasgos y patrones de la vegetación y de los cultivos, aprovechando para ello las características pictórico-morfológicas que poseen las imágenes.
- Trabajo de campo; consistió en comprobar la veracidad o exactitud de unidades interpretadas y su corrección, si ello era necesario.

#### 4. Resultados

##### 4.1 Tabla guía de patrones de interpretación para cobertura y uso de la tierra

Las áreas de cultivo de banano, los pastos, los bosques, la vegetación de pantano, los cuerpos de agua y áreas urbanas se identificaron, sobre las imágenes RadarSAT, con base al análisis de los elementos de interpretación registrados en la guía de patrones (Tabla 1).

**Tabla 1.** Tabla con patrones de interpretación.

Cobertura y Uso de la tierra	Elementos de interpretación	Observaciones
Cultivo de banano	Superficie plana, tonos de gris muy claro a gris claro, textura fina, forma regular.	F2-F5 dan información del patrón de siembra.
Pastos	Superficie plana alrededor de zona bananera y en valles del piedemonte, tono gris oscuro a medio, textura media, forma regular.	F2-F5 permiten diferenciar pastos limpios de pastos enmalezados.
Uso múltiple	Relieve ondulado a quebrado, tono gris claro a medio, textura gruesa a muy gruesa, forma irregular.	Es necesario complementar con trabajo de campo.
Bosque natural	Relieve plano inundable, tono gris medio, textura media, forma irregular.	S1 registra mayor variación.
Vegetación pantano	Llanura aluvial, mal drenada, tono gris claro a oscuro, textura media a fina, forma muy irregular.	S1 facilita la separación de áreas pantanosas.
Mangle	Desembocadura río Atrato, tono gris claro, textura media, franja angosta bordeando océano.	S7 lo registra muy bien.
Cuerpos de agua	Tono negro a gris oscuro, textura muy fina a fina, forma irregular.	S1 registra el agua en varios tonos.
Area urbana	Tono gris muy claro brillante, textura fina, forma regular.	S1 y S7 difícil para identificarlos.
Carreteras y pistas de aterrizaje	En zona de pastos y cultivos, formas rectilíneas de tono oscuro a gris medio.	F2-F5 da mayor detalle.

##### 4.2 Mapa de cobertura y uso de la tierra

En cuanto a la cobertura y uso de la tierra, existe una marcada variación entre la zona oriental (Urabá Antioqueño) y la zona centrooccidental (Urabá Chocoano) como resultado de las actividades económicas desarrolladas en la región.

- Zona oriental, en esta área la vegetación primaria desapareció, casi en su totalidad, y fue sustituida por cultivos intensivos, pastos y rastrojos.
- Zona centro-occidental, acá el proceso de colonización ha sido lento y limitado por barreras físicas (ciénagas, pantanos y serranías) en consecuencia, existe una

gran área con vegetación de pantano y algunas áreas de bosques sometidas a una extracción selectiva de la madera.

Los cambios de la cobertura se registran en las imágenes con diferentes tonos y texturas, elementos que fueron fuente de información para elaborar el mapa de cobertura y uso de la tierra con las siguientes categorías (Figuras 4 y 5).

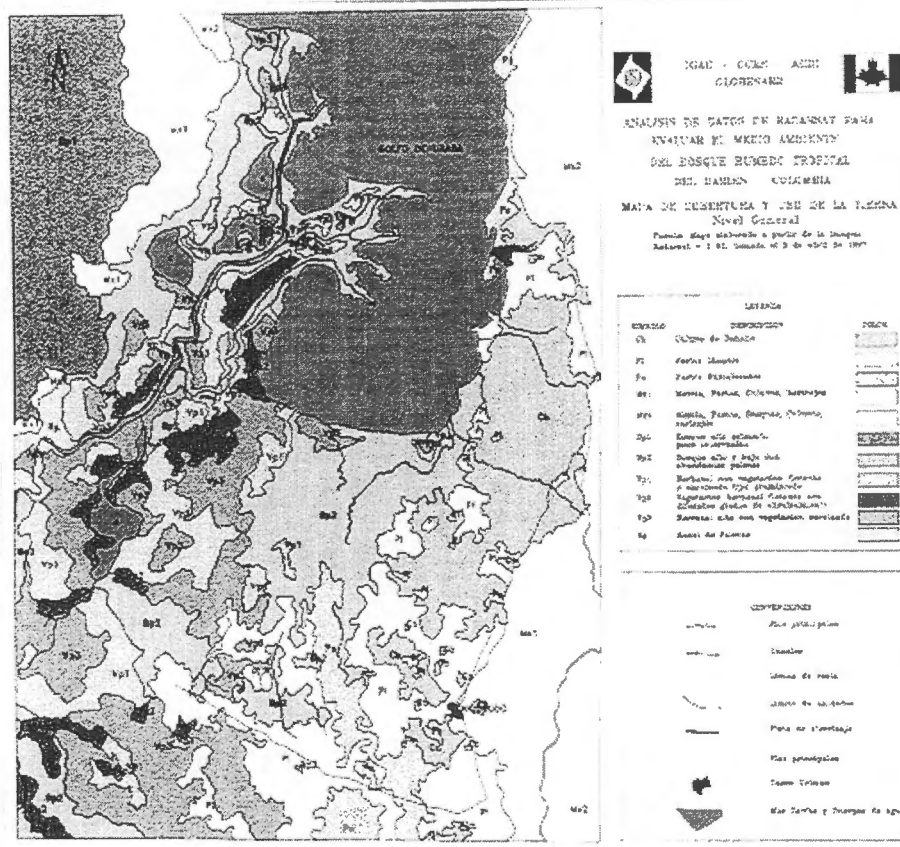


Figura 4. Mapa de cobertura y uso de la tierra a Nivel General

- Cultivos de banano (cb)

El área bananera, se extiende en una franja ancha localizada sobre un piedemonte aluvial, es la principal actividad económica de la región. Los tonos varían de gris muy claro a gris claro, textura fina, forma regular y tamaño de las parcelas de pequeñas a grandes.

- Pastos (Pa)

Áreas dedicadas a la ganadería, se extiende desde el extremo oriental, bordeando el área bananera, hasta llegar a la zona de pantano. Se observan fácilmente, cuando son extensiones relativamente grandes en terrenos planos. El tono va de oscuro a gris medio, textura media y de formas regulares en pastos limpios e irregulares en pastos enmalezados.

- Áreas de uso múltiple o misceláneos (Mx)

En esta unidad, se agruparon las áreas donde el bosque natural ha sido removido parcial o totalmente con el propósito de establecer ganadería y agricultura de subsistencia, se localiza en la parte oriental en zonas de relieve moderado a fuerte. El tono varía de gris medio a oscuro, textura media a gruesa, forma irregular. Para precisar el uso requiere trabajo de campo.

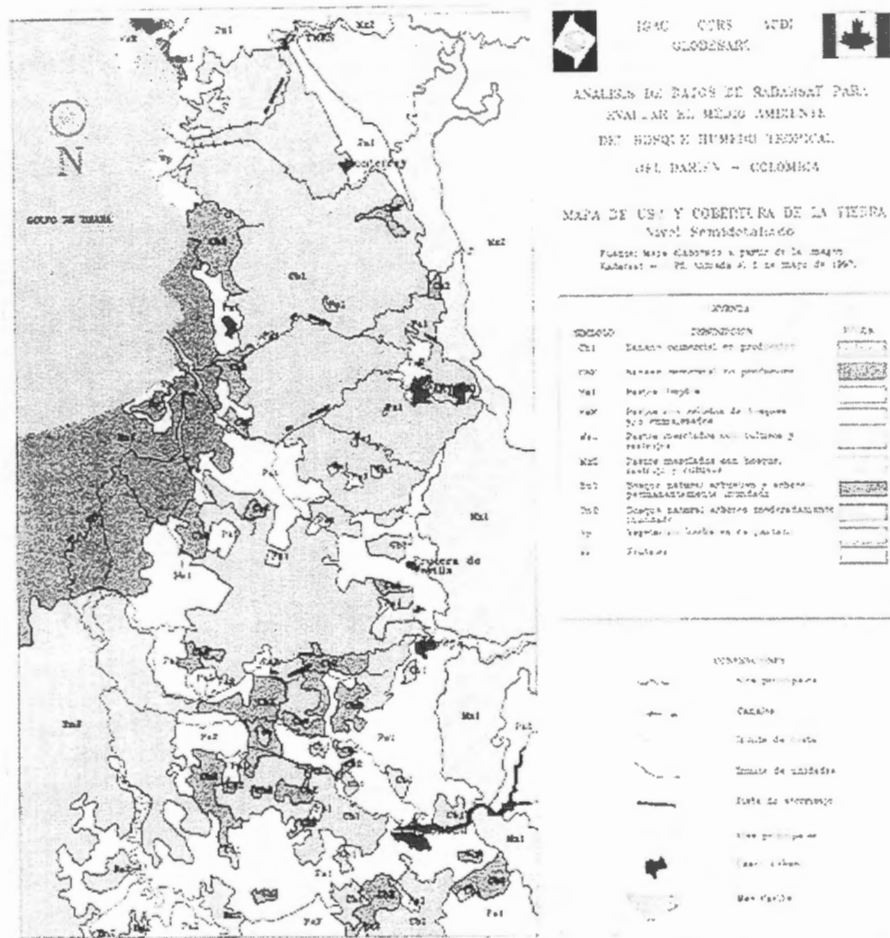


Figura 5. Mapa de cobertura y uso de la tierra a Nivel Semidetallado

- Bosque natural arbóreo y arbustivo (Bn)

Corresponde a la zona de transición entre el área agropecuaria y la zona de pantanos; está cubierta por especies vegetales arbóreas y arbustivas. Tono gris medio, textura media en zona plana y gruesa en zona de montaña.

- Vegetación de pantano (Vp)

Localizada especialmente en la llanura aluvial del río Atrato, zonas mal drenadas y pantanosas con vegetación herbácea y arbustiva, tono gris claro a oscuro, textura media a fina, forma irregular.



- Mangle

Corresponde a una franje muy angosta localizada sobre el delta del río Atrato, por su tamaño no se mapificó. Sin embargo, es importante anotar que sobre la imagen S7 se puede identificar claramente por el tono gris claro y la textura media que contrasta con las áreas vecinas.

- Cuerpos de agua

Las ciénagas, lagunas, agua de mar, cauces abandonados y ríos mayores son fácilmente determinables por el tono oscuro, textura muy fina y la forma irregular. En la imagen S1 los cuerpos de agua presentan diferentes tonalidades, originados posiblemente por el viento y/o por diferentes grados de sedimentación.

- Área urbana

Son los sitios donde se concentra la población humana. En la zona, se ubicaron varios poblados que corresponden a los municipios de Chigorodó, Carepa, Apartadó y Turbo. Se distinguen, F2-F5, por el tono gris muy claro, brillante, textura fina y forma regular.

- Carreteras y pistas de aterrizaje

Diferenciables por la forma rectilínea; las pistas son de tono gris oscuro, el tono de las carreteras varía de oscuro a medio. Se localizan en la zona de pastos y cultivos.

#### 4.3 Comparación de información suministrada por las imágenes (S1, S7, F2 y F5)

Haciendo análisis comparativo de la información suministrada por cada una de las imágenes, se obtuvieron los siguientes resultados.

**Tabla 2. Cuadro comparativo de información de cobertura y uso registrado**

Cobertura y Uso de la tierra	Imágenes de RadarSAT			
	S1	S7	F2	F5
Cultivo de banano	3	3	4	4
Pastos	3	4	4	4
Uso múltiple	2	2	2	2
Bosque natural	4	3	3	3
Vegetación pantano	4	3	3	3
Mangle	1	3	-	-
Cuerpos de agua	3	4	4	4
Área urbana	1	1	3	4
Carreteras y pistas de aterrizaje	3	2	4	4

Escala de información:      4: Muy buena información    3: Buena información  
    2: Regular información        1: Baja información  
    -: Sin información

## 5. Conclusiones

- En regiones con información cartográfica deficiente, las imágenes radarsat son una herramienta útil para su mejoramiento y/o actualización.
- Las características climáticas del bosque húmedo tropical (nubosidad, neblina y lluvia) no limitan el uso de las imágenes radarsat.
- Por la superficie cubierta (10.000 km<sup>2</sup> modo standard y 2.500 km<sup>2</sup> modo fino), por el número de ángulos de incidencia (7 para modo standard y 5 para modo fino) y por la posibilidad de estereoscopía, las imágenes de radarsat son muy importantes para levantamientos de cobertura y uso de la tierra en grandes regiones.
- En regiones con uso intensivo del suelo el modo S7 discrimina mejor la información que S1, y los modos F2 y F5 permiten diferenciar un mayor número de clases de uso.
- En regiones pantanosas, en el modo S1 se facilita diferenciar las coberturas vegetales que crecen en suelos con diferentes grados de humedad.
- Los datos radarsat son de gran importancia para el análisis de la dinámica fluvial y el monitoreo de cultivos industriales.

## 6. Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento, al Sr. Fred H. Campbell por la oportunidad que nos dio para participar en las investigaciones del Proyecto GlobeSAR-2, al Sr. Vern Singhroy, por sus valiosos aportes técnicos. Así como también al Doctor Santiago Borrero, Director General del IGAC, por el apoyo institucional brindado.

## 7 Referencias Bibliográficas

- CIAF. Aplicación de los Sensores Remotos en la clasificación y levantamiento de los bosques húmedos tropicales. Bogotá, 1981, 125 p.
- DEAGOSTINI, D. Sensores Remotos y Principios de la Percepción Remota. Bogotá, CIAF, 1975. 157 p.
- FAO. Métodos y procedimientos para evaluar el área forestal tropical y su cambio usando datos de satélite de alta resolución. Roma, Italia, 1991. 36 p.
- IGAC-INDERENA-CONIF. Bosques de Colombia. Memoria explicativa. Bogotá, 1984. 206 p.
- IGAC. Situación y análisis del proceso colonizador en Colombia. Bogotá, 1986. 304 p.
- PRORADAM. La amazonia colombiana y sus recursos. Bogotá, IGAC, MINDEFENSA, CIAF, 1979, 590 p.

# UTILIZAÇÃO DE DADOS SAR PARA MAPEAMENTO DE INUNDAÇÃO E VEGETAÇÃO NO PANTANAL BRASILEIRO - RESULTADOS PRELIMINARES

**João dos Santos Vila da Silva (PI) - Embrapa - CPAPantanal**

Rua 21 de Setembro, 1880  
79320-900 - Corumbá, MS, Brasil  
E-mail: jvila@cpap.embrapa.br

**Myrian de Moura Abdon - INPE - DSR**

Av. dos Astronautas, 1758, Cx.P. 515  
12223-970, São José dos Campos, Sp, Brasil  
E-mail: myrian@ltid.inpe.br

**Carlos Roberto Padovani - Embrapa/CPAPantanal**

E-mail: guara@cpap.embrapa.br

**Ron W. Pietsch - CCRS**

588 Booth St., Ottawa, Canada  
Ontario. K1A 0Y7

E-mail: ron.pietsch@geocan.nrcan.gc.ca

## RESUMO

Esta pesquisa faz parte do GlobeSar 2, desenvolvida em convênio de cooperação técnico-científica entre a Embrapa-CPAPantanal, o INPE e o CCRS (Centro Canadense de Sensoriamento Remoto). Objetiva avaliar imagens de RADARSAT para identificar áreas inundadas e para diferenciar tipos de vegetação em duas áreas do Pantanal. A área 1 localiza-se na Sub-região da Nhecolândia, cujo centro é a coordenada 18° 59' 00"S and 56° 39' 38" W, e a área 2 localiza-se na Sub-região do Nabileque com coordenada central 19°37'S and 57°07'W. Os seguintes materiais estão sendo utilizados na elaboração deste estudo: 1) Quatro imagens RADARSAT S2D DE 1997 no modo SAR standard 2 beam, tipo path image (SGF), espaçamento entre pixels de 12,5 x 12,5 metros; 2) Fotos aéreas oblíquas 35 mm e fotos obtidas no solo; 3) Estudos hidrológicos, mapas de inundação e vegetação pré-existentes sobre a área 2 (Nabileque) na escala de 1:100.000, obtidos por imagens da Landsat; 4) Mapa de vegetação da área 1 (Nhecolândia) na escala de 1:50.000, obtido por imagem de Landsat; 5) Sistemas de Informações Geográficas (SGI/INPE) e Sistema de Tratamento de Imagem (PCI v. 6.2.2). Como verdade de campo foram utilizados os mapeamentos efetuados para a região, acrescidos de trabalhos de campo. A interpretação das imagens de radar foi de modo visual. As imagens foram processadas da seguinte maneira: 1) Recortadas em módulos específicos para a região de estudo; 2) Aplicação de filtro Fkuan 3x3 para remoção do speckle; 3) Escalonamento de 16 para 8 bits (256 níveis de cinza); 4) Registro imagem x imagem e imagem x mapa; 5) Criadas uma imagem diferença (seca - cheia); 6) Criadas composições coloridas com duas imagens originais e a imagem diferença. São apresentados resultados preliminares apenas para a área 1. Verificou-se que o contraste maior entre as fisionomias ocorre na imagem da época seca, porém água livre (cursos d'água, alagados e baías) são facilmente identificados na imagem da época cheia. Nessa imagem a separabilidade fisionômica não é nítida, enquanto que na época seca é melhor. A composição colorida ofereceu melhores resultados, permitindo identificar áreas com Cerradão (Savana Florestada) e Campo (Savana Gramíneo lenhosa), porém áreas de Cerrado

(Savana Arborizada) e Campo Cerrado (Savana Parque) não foram perceptíveis; as lagoas puderam ser identificadas em 1) Baías ou Salinas sem plantas emergentes; 2) Baías com plantas emergentes e 3) Baías em processo de seca com plantas herbáceas e arbustivas. A diferença de pastejo - pasto nativo rapado, ficou acentuada na imagem da época cheia.

## UTILIZATION OF SAR DATA FOR FLOOD AND VEGETATION MAPPING IN THE PANTANAL WETLAND BRAZILIAN - PRELIMINARY RESULTS

### ABSTRACT

This research is part of GlobeSar 2, developed in technical-scientific cooperation between the Embrapa-CPA Pantanal, the INPE and the CCRS (Canadian Center of Remote Sensing). The objective is to evaluate RADARSAT images to identify flooded areas and to discriminate vegetation types in two test areas of the Pantanal. Area 1 is located in the Nhecolândia subregion, central coordinates 18° 59'00"S and 56°39'38"W. Area 2 is located at the Nabileque subregion, central coordinates 19°37'S and 57°07'W. The following materials are being used in this study: 1) Four RADARSAT S2D images, SAR mode standard 2 beam, path image (SGF) type, pixels spaced 12,5 x 12,5 m. 2) oblique aerial photographs of 35 mm and photographs at ground level; 3) previous hydrological studies, flood and vegetation maps of area 2, at the scale 1:100.000, elaborated through interpretation of Landsat images; 4) vegetation maps of area 1, scale 1:50.000, also obtained through Landsat images, and 5) Geographic Information System (GIS) and Image Processing System (PCI v. 6.2.2). As field truth the mappings effected for the region had been used, increased of field works. The interpretation of the radar images was in visual mode. The images had been processed in the following way: 1) Cut in specific modules for the study region; 2) Application of Fkuan filter 3x3 for removal of speckle; 3) Scale of 16 for 8 bits (256 digital number); 4) Register image x image and image x map; 5) Created a image difference (it dry - flood); 6) Created compositions colored with two original images and the image difference. They are presented preliminary results only for area 1. It was verified that the biggest contrast between the fisionomies occurs in the image of the dry time, however free water (water courses, flooded areas and ponds) is easily identified in the image of the flood time. In this image the fisionomic separability is not clear, while that at the dry season it is better. The color composition offered better resulted, allowing to identify areas with "Cerradão" woodland (Forested Savanna) and Grassland (Wood Grassy Savanna), however areas of "Cerrado" (Open Savanna) and Grassland with "Cerrado" (Savannah Park) had not been perceivable; the ponds could have been identified in 1) Ponds or Salt-Lakes without emergent plants; 2) Ponds with emergent plants and 3) Ponds in process of drought with herbaceous and shrub plants. The difference of pasture use was accented in the image of the flood season.

### INTRODUÇÃO

Nas décadas de 70 e 80 as imagens orbitais oriundas de sensores elétrico ópticos (passivos) foram utilizados, absolutos, por toda a comunidade científica mundial, nas suas mais diversas aplicações. A partir da década de 90 estão sendo colocados em órbita satélites com sensores de

microondas (ativos), conhecidos como radar. Atualmente encontra-se em operação o satélite J-ERS-1 (Japão), ERS-1 (Comunidade Econômica Européia) e o RADARSAT (Canadá), objeto deste estudo.

Estudos de avaliação das imagens de radar tem sido desenvolvidos na Amazonia e Pantanal. Paradella, et al. (no prelo) descreve os objetivos, fundamentos e características do projeto ADRO para a avaliação de imagens RADARSAT na Amazônia. O projeto enfoca as aplicações em mapeamento geológico e exploração mineral, mapeamento do uso da terra e monitoramento, monitoramento de enchentes e manejo de áreas alagáveis, estudo de impactos ambientais de barragens, inventário da floresta tropical, dinâmica do uso da terra e detecção de mudanças fenológicas da floresta.

Resultados preliminares do projeto ADRO para o reservatório de Tucuruí e Lago Grande, podem ser encontrados em Costa et al. (1997) que realizou o pre-processamento das imagens RADARSAT utilizando técnicas de correção radiométrica e geométrica. Novo (1997) testou a relação entre o retroespalhamento relativo da banda C do RADARSAT com variáveis dos bancos de macrofitas, concluindo que devido a variabilidade interna e entre diferentes bancos de macrofitas torna-se difícil o estabelecimento dessa relação, sugerindo a aplicação de modelos adaptados a cada tipo de banco de macrofitas. Costa et al. (no prelo) trabalhando no Lago Grande e Novo et al. (no prelo) trabalhando no reservatório da hidroeétrica de Tucuruí, ambos na Amazônia, testaram a combinação de imagens RADARSAT e JERS-1 na obtenção de dados de diferentes ângulos de incidência e de diferentes comprimentos de onda para aumentar a precisão de classificação.

Estudos a partir de radares aerotransportados apontaram este sensor como um excelente delimitador água solo (Koopmans et al., 1995) e como uma ferramenta complementar com potencial para a discriminação da fisionomia vegetal e de culturas agrícolas, especialmente em regiões que apresentem limitações de imageamento por sensores ópticos, devido às condições adversas de visibilidade (Ulaby et al., 1986). Por conseguinte, o sensor de microondas (radar) vem ao encontro dos caracteres e das necessidades da região pantaneira, uma área na qual, praticamente, toda dinâmica fisionômica está associada ao regime das águas, e com estações anuais apresentando maior frequência de nebulosidade e fumaça.

São poucos os trabalhos desenvolvidos no Pantanal referentes à cartografia da vegetação. Os trabalhos de Brasil (1979), Brasil (1982a; 1982b) - RADAMBRASIL e Mato Grosso do Sul (1988), foram voltados ao mapeamento da vegetação na escala de 1:1.000.000 de toda a planície do Pantanal, com exceção do estudo de Mato Grosso do Sul (1988), que se refere apenas à planície situada no Estado do Mato Grosso do Sul. Pott et al. (1997) mapearam a vegetação da Bacia do Alto Paraguai na escala de 1:250.000.

Os trabalhos de Mapotec (1984), Silva (1985), Ponzoni et al. (1989), Silva et al. (no prelo) e Abdon et al. (no prelo) apresentam mapeamentos da vegetação em diferentes escalas e áreas do Pantanal e utilizaram fotografias aéreas e/ou imagens de satélite.

Darch (1979), Roy (1982) e Silva (1992a e 1992b) utilizaram imagens do satélite Landsat para analisar a inundação de áreas do Pantanal.

Bignelli et al. (no prelo) compararam o desempenho do radar a bordo do ERS-1 para identificação da fisionomia da vegetação da sub-região da Nhecolândia.

Henebry e Kux (1996) e Kux e Henebry (1997) analisaram as variações espaço-temporal da inundação no Pantanal utilizando uma série temporal de imagens ERS-1 SAR através da "lacunarity analysis", proporcionando o desenvolvimento de ferramentas para análises espaciais, a documentação da dinâmica do Pantanal e a utilização de imagens multitemporais do SAR no monitoramento de áreas susceptíveis a inundação.

Diante desse contexto, este trabalho objetiva avaliar imagens do RADARSAT na discriminação de fitofisionomias e a variação de inundação no Pantanal.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Caracterização da área de estudo

Duas áreas de estudo foram selecionadas dentro do Pantanal brasileiro devido a sua diversidade de ambientes e por possuírem estudos cartografados sobre vegetação e inundação.

A área de estudo 1 selecionada para este trabalho localiza-se no Pantanal brasileiro, na sub-região da Nhecolândia, Fazenda Nhumirim e entorno, cujo centro é a coordenada 18° 59' 00"S and 56° 39' 38" W. Abdon et al. (1997) e Abdon et al. (no prelo) mapearam áreas inundadas (seis classes) e fitofisionomias (sete classes) dessa área na escala de 1:50.000, respectivamente.

A área de estudo 2 localiza-se na planície de inundação dos rios Miranda e Paraguai, na sub-região do Nabileque - Parte da Fazenda Acurizal, com coordenada central 19°37'S and 57°07'W. Nesta região há uma grande diversidade de ambientes onde as pequenas diferenças de umidade no solo podem ser associadas a diferentes tipos de vegetação. Silva (1992) elaborou, para esta área, cinco mapas de inundação com três classes, do ano hidrológico de 1989 na escala de 1:100.000, correlacionado-os com os níveis fluviométricos dos rios Miranda e Paraguai. Silva et al. (no prelo) mapeou 14 classes de vegetação para essa área, na escala de 1:100.000.

Segundo Abdon et al. (no prelo), a área 1 caracteriza-se por apresentar extensas áreas de campo, vazantes, baías e salinas contornadas por vegetação do tipo campo, cerrado e cerrado. O solo é altamente arenoso (mais de 90% de areia). Em torno de 70% das chuvas ocorre no período de outubro/março e o restante, no período de abril/setembro, coincidindo com a época de cheia e a época de seca, respectivamente. A área pode ser alagada tanto por chuva como por transbordamento fluvial. O rio Capivari ou Riozinho e a vazante do Corixão são os principais cursos d'água existentes na área, embora sejam intermitentes em grande parte do ano. O rio Capivari é responsável pelo alagamento de extensas áreas de campo, e parte das áreas de vazante deste rio apresenta-se com numerosos caapões de mata. O Corixão localiza-se a noroeste da área de estudo, e próximo a ele, observam-se grandes áreas ocupadas por cerrado aberto.

Segundo Silva et al. (no prelo), na área 2, as regiões de espinheiral e campo permanecem com água por períodos mais longos durante o ano. Em seguida são encontradas, suportando períodos longos de cheia, as regiões de paratidal e canjiqueiral, as quais se diferenciam em função do solo em que se instalam. Os canjiqueirais são observados em solos mais arenosos (vazantes) que os paratidais. Os carandazais já são encontrados em regiões menos alagadas, mais próximas às matas e se apresentam contornadas por vazantes. Finalmente, as matas e acurizais ocupam ambientes que raramente são alcançados pelas águas. As regiões de carandazal e mata semidecídua, acurizal e mata semidecídua



possuem alta densidade da vegetação. As regiões de espinheiral arbustivo e espinheiral arbustivo-arbóreo apresentam variação na densidade de vegetação.

#### **Procedimentos para análise das imagens RADARSAT**

Os seguintes materiais estão sendo utilizados na elaboração deste estudo:

- 1) Quatro imagens RADARSAT S2D. As imagens de 21 de abril 1997 referem-se ao período de inundação e as de 19 de agosto de 1997 referem-se ao período da seca. As imagens de abril são relativas a órbita descendente 7629 e as de agosto relativas a órbita descendente 9344. Ambas foram adquiridas no modo SAR standard 2 beam, tipo path image (SGF), espaçamento entre pixels de 12,5 x 12,5 metros e resolução no terreno de 25 metros;
- 2) Foto aéreas oblíquas 35 mm e fotos obtidas no solo;
- 3) Estudos hidrológicos, mapas de inundação e vegetação pré-existent sobre a área 2 (Nabileque) na escala de 1:100.000, elaborados a partir de imagens do satélite Landsat;
- 4) Mapa de vegetação e de inundação da área 1 (Nhecolândia) na escala de 1:50.000, elaborado a partir de imagem do satélite Landsat.
- 5) Sistemas de Informações Geográficas (SGI/INPE) e Sistema de Tratamento de Imagens (PCI v. 6.2.2).

Os mapas existentes foram recuperados e servem como verdade terrestre. A fim de complementar as informações sobre fitofisionomias e inundação na área 1 foram realizados sobrevôos com helicópteros. Nesses sobrevôos foram obtidas fotografias 35 mm oblíquas. No solo foram complementados os trabalhos de campo para verificação e caracterização dos tipos de vegetação presentes na região, seguindo a metodologia utilizada por Abdon et al (no prelo). Esta caracterização constituiu-se nas medidas de diâmetro à altura do peito (DAP), altura total, dimensão da copa (em dois sentidos ortogonais), posição sociológica (inferior, média e superior), qualidade do fuste (bom, médio e ruim) e forma da copa. Estes dados foram coletados em parcelas de 5 x 20 m, onde também se procedeu a identificação florística das espécies encontradas na parcela. Elaboraram-se diagramas de perfil vertical dos dosséis arbóreos e da projeção das copas, com o objetivo de ilustrar as diferenças estruturais entre eles.

A primeira fase de pré-processamento dos dados RADARSAT visou à atenuação do ruído "speckle", que se trata de uma distorção eletrônica inerente aos sensores de microondas. Esta distorção é suprimida com a aplicação de filtragem do tipo adaptativa, cuja principal característica é considerar as informações texturais locais e suprimir o ruído sem prejudicar a qualidade visual da imagem como um todo, o que ocorreria com a aplicação de um filtro do tipo "passa baixa". O filtro Fkuan foi aplicado nas quatro cenas, com janela de 3 x 3 "pixels", em canal de 16 bit para outro de 16 bit.

Cada uma das imagens de 16 bit foi então escalonada para 8 bit utilizando-se o algoritmo SCALE e em seguida foi aplicado um aumento de contraste linear mediante a visualização e determinação dos pontos de corte dos histogramas dos canais filtrados.

Mediante a coleta de pontos de controle, foi feito registro, para as duas cenas diferentes, de imagem-imagem (abril-agosto) e imagem-carta ( mapa de vegetação).

Foram criadas, para as duas cenas, imagens diferença, subtraindo a imagem do período seco (agosto) da imagem do período cheio (abril), com objetivo de realçar as áreas úmidas, em seguida foi aplicado um realce linear.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados ora apresentados referem-se a uma primeira avaliação preliminar da utilização dos dados de RADARSAT no Pantanal. Fez-se uma comparação visual entre as imagens radar e os mapas de inundação e vegetação existentes. Foram analisadas as imagens individuais da época da cheia (19/04/97) e da época da seca (21/08/98), além da composição colorida com essas duas imagens e a imagem diferença (seca - cheia).

Verificou-se que a imagem do período cheio o contraste entre as diferentes fisionomias é muito baixo, tendendo a se homogeneizar. Para a imagem da época seca houve uma melhora significativa no contraste, podendo ser identificadas várias feições no terreno. Entretanto, a composição colorida foi a que ofereceu melhores resultados, tornando possível identificar com mais nitidez, diferentes fisionomias na região avaliada.

Para essa região, Abdon et. al. (no prelo) identificou, com imagens Landsat, as seguintes classes fitofisionômicas: 1) Savana florestada (Cerradão, Mata e Babaçual); 2) Savana arborizada (Cerrado ou Cerrado denso); 3) Savana arborizada + savana gramíneo-lenhosa (Cerrado aberto ou Campo cerrado); 4) Savana gramíneo-lenhosa + savana arborizada (campo com manchas de Cerrado (murundu) e Cerrado aberto); 5) Savana gramíneo-lenhosa 1 (campo sujo, campo limpo e vazantes); 6) Savana gramíneo-lenhosa 2 (vegetação aquática/arbustiva) e 7) Savana gramíneo-lenhosa + savana florestada (vazante com caapões de mata semidecídua).

Com relação à inundação Abdon et al (1997) identificou as seguintes classes: 1) Área Seca; 2) Área Úmida; 3) Área Alagada; 4) Baías ou salinas sem macrófitas aquáticas; 5) Baías com macrófitas aquáticas emergentes e 6) Baías com macrófitas aquáticas imersas.

A imagem da época cheia não permitiu boa separabilidade das diferentes classes de vegetação. Mesmo fitofisionomias contrastantes como Cerradão e Campo não se apresentaram bem definidas. Porém, área seca, água livre (cursos d'água, alagados e baías) são facilmente identificados nessa imagem. O canal do riozinho e a sua área de vazante ficou muito bem definida. A diferença entre as baías não é clara.

As diferenças de pastejo das invernadas ficaram muito bem acentuadas nessa imagem. De um lado da cerca, onde o pasto nativo encontrava-se denso, sem pastejo, o retrobrilho foi maior, dando um brilho alto na imagem, fazendo-a aparecer branca, enquanto que do outro lado da cerca, com pastejo intenso, e pasto rente ao solo a resposta maior foi do solo úmido ou água, tornando a reflexão especular, fazendo com que o retrobrilho se disperse, produzindo uma imagem em tom negro.

A imagem da época seca permitiu separar duas classe de vegetação: Cerradão (Savana Florestada) e Campo (Savana Gramíneo Lenhosa), porém os limites não se mostraram muito bem definidos. Nesta imagem, não se verificou a diferença de pastejo entre invernadas.

Com relação à inundação, observam-se com nitidez os cursos d'água e as baías. Nesta imagem as lagoas puderam ser identificadas em 1) Baías ou Salinas sem plantas emergentes; 2) Baías com

plantas emergentes e 3) Baías em processo de seca com plantas herbáceas e arbustivas. Porém, aqui ocorre também, a pouca definição dos limites.

A composição colorida ofereceu melhores resultados, permitindo identificar com maior nitidez, as classes de água e vegetação identificadas na imagem da época seca. A diferença de pastejo também foi verificada nesta imagem, porém o contraste é melhor na imagem da época cheia. A seguir são caracterizadas as duas classes de vegetação identificadas nas imagens de RADARSAT.

**Savana florestada (Cerradão, Mata e Babaçual)** - Formação com fisionomia florestal, ocorrendo em terreno não inundável e clima tropical eminentemente estacional. As árvores apresentam-se dispostas de maneira mais ou menos ordenada, com copas irregulares, podendo se tocar. A composição florística é heterogênea. As áreas de savana florestada possuem formas alongadas contornando baías e salinas, e estão dispostas no sentido do fluxo das vazantes. Localizam-se nas cordilheiras e caapões, os quais possuem uma elevação em relação ao terreno entre 1 e 2 metros.

Na área de estudo, a fitofisionomia Cerradão nem sempre apresenta uma estratificação nítida. Em algumas regiões há uma concentração de árvores mais altas, com alturas em torno de 13 m, e árvores de porte médio com cerca de 7 m. Em outras, há árvores que variavam entre 3 e 10 m de altura, sem caracterizar estratos diferenciados. Os indivíduos observados nesta fitofisionomia apresentaram DAP médio de 18,4 cm e densidade média de 1.320 árvores/ha.

**Savana gramíneo-lenhosa (campo sujo, campo limpo e vazantes)** - Prevaecem nesta formação os gramados, que ocupam extensas áreas alagáveis. A composição florística é bastante diversificada.

De um modo geral as imagens de radar permitem a identificação de um número menor de fitofisionomias, quando comparadas com o mapa existente obtido por imagem de satélite Landsat. Nesta avaliação preliminar, identificou-se apenas duas classes contra sete classes existentes.

Salienta-se que os melhores resultados referem-se as análises sobre inundação. As classes identificadas assemelham-se mais àquelas obtidas pelas imagens Landsat. Na imagem radar não foi possível identificar baías com macrófitas aquáticas imersas (algas), porém foi identificado a classe de baías em processo de seca com plantas herbáceas e arbustivas, que na época do mapeamento por Landsat, era ainda bastante incipiente.

A seguir encontram-se uma breve caracterização das fitofisionomias arbóreas identificadas por Landsat e que não foram identificadas nas imagens radar. Salienta-se que serão realizadas novos processamentos e definido uma nova chave de classificação para tentar separá-las, pois fisicamente elas se apresentam distintas:

**Savana arborizada (Cerrado ou Cerrado denso)** - As árvores alcançaram altura máxima de 12 m, com um estrato superior. Um estrato médio foi observado com altura máxima de 7 m. Os indivíduos observados nesta fitofisionomia apresentaram DAP médio de 17,4 cm e densidade média de 1.033 árvores/ha.

**Savana arborizada + savana gramíneo-lenhosa (Cerrado aberto ou Campo cerrado)** - As árvores alcançaram altura máxima de 10 m e as árvores atingiram predominantemente alturas entre 4 e 7 m. Os indivíduos apresentaram DAP médio de 12,4 cm e densidade média de 900 árvores/ha.

Savana gramíneo-lenhosa + savana arborizada (campo com manchas de Cerrado (murundu) e Cerrado aberto) - No cerrado com murundu as árvores alcançaram altura máxima de 8 m. O estrato arbóreo predominou com alturas em torno de 5 m. Os indivíduos apresentaram DAP médio de 8,8 cm e densidade média de 850 árvores/ha.

## CONCLUSÕES

1. Os resultados preliminares permitem identificar duas classes de vegetação e cinco classes de inundação.
2. As imagens mostraram-se boas para discriminação de feições relacionadas a água e ruínas para discriminação de fitofisionomias, mesmo quando estas se apresentam com diferenças estruturais e de densidade.
3. As composições coloridas oferecem melhores resultados, quando comparadas com as imagens individuais.
4. É necessário estudo mais detalhado dos produtos radar, visando otimizar sua utilização.

## REFERÊNCIAS

- ABDON, M.M.; SILVA, J.S.V.; POTT, V.J.; SILVA, M.P.; POTT, A. (no prelo). Utilização de dados analógicos do Landsat-5 e na discriminação da vegetação de parte da sub-região da Nhecolândia no Pantanal.
- ABDON, M. M.; SILVA, J. S. V.; GALDINO, S. (no prelo). **Extensão da área alagada no período de cheia em parte da sub-região da Nhecolândia, no Pantanal, Brasil.**
- BIGNELLI, P.A.; ABDON, M. de M.; PALME, U.W.; SILVA J.S.V. (no prelo) **Avaliação preliminar de dados radar ERS-1 para estudos no Pantanal brasileiro.**
- BRASIL. 1979. Ministério do Interior. **Estudo de Desenvolvimento Integrado da Bacia do Alto Paraguai.** Relatório de 1a. fase. Brasília: SUDECO/ EDIBAP, t.2, 235p.
- BRASIL. 1982a. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SE. 21 Corumbá e parte da folhas SE.20: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra.** Rio de Janeiro, 448p. (Levantamento de Recursos Naturais, 27).
- BRASIL. 1982b. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SF.21 Campo Grande: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra.** Rio de Janeiro, 412p. (Levantamento de Recursos Naturais, 28).
- COSTA, M.P.; NOVO, E.M.L.M.; PIETSCH, R.W.; AHERN, F. 1997. Preprocessing of RADARSAT Images of Tucuruí Reservoir and Lago Grande Floodplain, Amazon. GER'97, May 25-30, Ottawa, Canada.
- COSTA, M.P.F.; NOVO, E.M.L.M.; MITSUO II, F.; MANTOVANI, J.E.; BALLESTER, M.V.; AHERN, F. (no prelo) **Classification of floodplain habitats (Lago Grande, Brazilian Amazon) with RADARSAT and JERS-1 data.**
- DARCH, J.P.A. 1995. A study of moisture conditions in the Pantanal of Brazil using satellite imagery. **Remote Sensing of Environment.** 8(4):331-348, 1979. KOOPMANS, B.N.; POHL, C.; WANG, Y. The 1995 flooding of the Rhine, Waal and Maas rivers in the Netherlands. **Earth Observation Quarterly**, v. 26, n. 47, p. 525-531, March.
- HENEBRY, J.M.; KUX, H.J.H. 1996. Spatio-temporal land cover dynamics in the Pantanal assessed using lacunarity analysis on an ERS-1 SAR image time series. Proceedings IGARSS'96, Lincoln/Nebraska, 27-31 May.
- KUX, H.J.H.; HENEBRY, G.M. 1997. Analysis of flooding dynamics in the Pantanal, using time series of ERS-1 SAR imagery. Proceedings of an International Seminar on The use and applications of ERS in Latin America, Vina del Mar, Chile, 25-29 November.
- MAPOTEC Engenharia e Empreendimentos Agroflorestais Ltda. 1984. **Fotointerpretação e inventário florestal da Fazenda Bodoquena.** Curitiba, 235p.
- MATO GROSSO DO SUL. 1988. Secretaria de Planejamento e Coordenação geral. **Macrozoneamento geoambiental do Estado de Mato Grosso do Sul.** Campo Grande: 138p.

- PONZONI, F.J.; HERNANDES FILHO, P.; PEREIRA, M.T.; LORENSI, C.J. 1989. **A fisionomia da cobertura vegetal do Parque Nacional do Pantanal Matogrossense: Uma análise temporal.** São José dos Campos: INPE, 61p. (INPE-4809-RPE/589).
- POTT, A., SILVA, J.S.V.; ABDON, M.M.; POTT, V.J.; RODRIGUES, L.M.R.; SALIS, S.M.; Hatschbach, G.G. 1997. **Vegetação.** In: PLANO DE CONSERVAÇÃO DA BACIA DO ALTO PARAGUAI - PCBAP: Diagnóstico dos meios físico e biótico. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal - Subcomponente Pantanal. Brasília: MA/SEMAM/PNMA, v.2, t.2, p.1-179.
- NOVO, E.M.L.M.; COSTA, M.P.F.; MANTOVANI, J.E.; BALLESTER, M.V., 1997. RADARSAT relative backscatter and macrophyte canopy variables: preliminary results for Tucuruí reservoir and Lago Grande floodplain, Brazilian Amazon. GER'97, May 25-30, Ottawa, Canada.
- NOVO, E.M.L.M.; COSTA, M.P.F.; ÁVILA, J. (no prelo) **Multiple frequency versus multiple angle radar data for ground target discrimination: Tucuruí reservoir, Amazon.**
- PARADELLA, W.R.; AHERN, F.J.; KUX, H.J.H.; NOVO, E.M.L.M.; COSTA, M.P.F.; SHIMABUKURO, Y.E.; ALVES, D.S.; VALERIANO, D.M. (no prelo) O uso de radar orbital em aplicações ambientais na Amazônia brasileira: a avaliação do RADARSAT no programa ADRO.
- ROOY, C. 1982. Avaliação da interpretação visual de imagens Landsat MSS na quantificação de áreas inundadas no Pantanal Matogrossense. Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2., Brasília, 10-14 mar. 1982. **Anais...** São José dos Campos, INPE, v. 2, p. 395-411.
- SILVA, D. 1985. **Mapeamento das formações vegetais e da variação da lâmina d'água em parte do Parque Nacional do Pantanal Mato Grossoense e adjacências, através de técnicas de sensoriamento remoto.** São José dos Campos: INPE, 59p., 7 apend., 4 mapas. (Dissertação de Mestrado - Sensoriamento Remoto).
- SILVA, J.S.V.; ABDON, M. de M.; BOOCK, A.; SILVA, M.P. da. (no prelo). **Fitofisionomias dominantes em parte das sub-regiões do Nabileque e Miranda, Sul do Pantanal.**
- SILVA, J. dos S. V. da, KUX, H.J.H. 1992a. Thematic Mapper and GIS data integration to evaluate the flooding dynamics within the Pantanal, Mato Grosso do Sul State, Brazil. In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM - IGARSS'92, 23., Houston. **Proceedings...** Houston: IEEE, v.2. p.1478-1480.
- SILVA, J. dos S. V. da, KUX, H.J.H. 1992b. Recurrence periods of flood associated to TM data within the Pantanal, Brazil. IN: CONGRESS INTERNATIONAL SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 17., 1992, Washington, DC. **Archives...** Washington: ISPRS, v. 29, Série B-7, p.235-240.
- ULABY, F.F.; MOORE, R.K.; FUNK, A.K. 1986. **Microwave Remote Sensing: Active and Passive.** Reading, MA: Addison-Wesley, v.3, 360p.

# APLICACIÓN DE IMÁGENES DE RADAR EN LA DETECCIÓN DEL USO Y COBERTURA DEL SUELO PARA LA PROVINCIA DE HERRERA. ESCALA 1:100,000.

Daysi de Sánchez  
Instituto Geográfico Nacional "Tommy Guardia"  
M.O.P. Transistmica, Panama

## RESUMEN

### ANTECEDENTES:

En nuestro país no existe información actualizada de los diferentes *Usos y Cobertura del Suelo*, que sirvan como elemento para la planificación y cuantificación de sus recursos y poder así establecer un ordenamiento territorial en base a su potencial.

Es importante tener un inventario actualizado del *Uso y Cobertura del Suelo*. Indispensable, para la protección, planificación y aprovechamiento de los mismos. Por lo tanto es de interés para nuestra institución llevar adelante este estudio.

La utilización de la avanzada tecnología de la teledetección satelitaria, que nos brinda cantidad de datos confiables de la superficie terrestre y en este caso particular de las imágenes de Radar, con sus ventajosas características. Servirán de complemento a la información suministrada por las imágenes Landsat TM. Lo cual se traducirá en una mejor discriminación de los diferentes *Usos y Coberturas del Suelo*.

### JUSTIFICACIÓN

La provincia de Herrera se ha distinguido por mantener altos niveles de intervención de orden antrópico, caracterizado por una destrucción irradicional de los bosques. Los cuales han sido paulatinamente sustituidos por cultivos y pastos. Esta práctica desordenada a traído como consecuencia la degradación del suelo así como también la destrucción de importantes ecosistemas.

Ante esta realidad se hace necesario implementar estudios y programas de desarrollo sostenible, que garanticen un adecuado uso del medio. En esta línea es de suma importancia hacer un diagnóstico consistente que refleje la realidad actual y que sirva de base para impulsar los futuros proyectos de desarrollo en la región.

Esta región ha sido escogida como área piloto, para aplicar las técnicas de imágenes de Radar en el estudio del *Uso y Cobertura del Suelo*. Para luego hacerlo extensivo a otras áreas de la República de Panamá.

Además este proyecto podrá presentar los elementos que les permitirá a los profesionales involucrados en la toma de decisiones, adoptar las políticas para el mejor Ordenamiento Territorial.



## **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar, las ventajas, limitaciones y potencialidades de las imágenes de radar para el mapeo de *Uso y Cobertura del Suelo*.

## **OBJETIVO ESPECIFICO**

- General cartografía relacionada con la identificación y estado de los diferentes tipos de cubierta del terreno.
- Determinar los diferentes categorías de *Uso y Cobertura del Suelo* a nivel provincial y distritorial.
- Utilizar las técnicas visuales y digitales para elaborar un *Mapa de Uso Cobertura del Suelo* a través de imágenes del satélite radarsat. Complementada con información de otros sistemas ópticos. (Imágenes del Satélite Landsat y fotografías aéreas).
- Evaluar el efecto multiplicador que se produce cuando se incorpora, a los niveles de investigación y decisión, antecedentes y datos mejorados tanto cuantitativamente como cualitativamente de imágenes de radar.

## **CARACTERISTICA DEL AREA SELECCIONADA**

Es una de las provincias centrales de la república de Panamá. Se encuentra localizada a los 7° 50' N y 6° los 80° 45' O. Limita al Norte, con las provincias de Veraguas, Coclé y el Golfo de Parita y al Sur con la provincia de Los Santos y Veraguas; al Este con el Golfo de Panamá y la provincia de Los Santos y al Oeste con la provincia de Veraguas.

Esta provincia tiene una superficie de 2,340.7 km<sup>2</sup> con una población de 93,681 habitantes; comprende 7 disritos: Chitré, Las Minas, Los Pozos, Ocu, Parita y Santa María.

Tiene 17.5 km, de costas ubicados al noroeste en el Golfo de Parita.

En el relieve predomina las tierras bajas y colinas. Hacia la parte sur de la provincia se encuentran las mayores elevaciones que corresponden al Cerro Cacarañado (997 m.), y Alto Higo (953 m.).

Las principales ríos son el Río La Villa con 119.0 km.), río Parita (77.5 km.) y Río Escotá (39.6 km.).

Su clima se caracteriza por ser tropical de Sabana en la mayor parte de su territorio, la precipitación promedio anual es de 1,000 mm; la temperatura promedio anual oscila entre los 24°C - 27°C.

## **METODOLOGÍA**

Para la clasificación del Uso y Cobertura se utilizó como base la siguiente leyenda confeccionada a través de diferentes consultas interdisciplinarias e interinstitucionales coordinado por la Universidad Tecnológica, Departamento Geotecnia 1992.

a. **Análisis de las imágenes de Radar en papel fotográfico**

Para la creación de los diferentes sobrepuestas de la interpretación visual de todos los elementos contenidos en la imagen, cabe señalar que esta metodología es bastante subjetiva ya que se hace una evaluación de las características y la distribución espacial.

En plástico transparente se plasmará el análisis de las diferentes elementos presentes en la imagen de Radar, según la leyenda.

Se usaran fotografías aéreas para complementar el análisis.

b. **Análisis Digital**

Las imágenes de Radar obtenidas en formato digital nos permitirá el análisis por computadora y así determinar los diferentes rangos digitales que no pueden ser analizados en las imágenes en papel, determinando así una clasificación digital.

c. **Verificación de Campo**

Después de realizar la Clasificación manual y el realce digital del Uso y Cobertura se verificará en campo los puntos donde haya duda de los diferentes categorías apoyandose con los sistemas de posicionamiento global GPS.

## **RESULTADOS ESPERADOS**

1. Obtener un mapa con las diferentes categorías de Uso y Cobertura del Suelo para la Provincia de Herrera.
2. Determinar el área de Uso y Cobertura para cada una de las categorías identificadas provincial y distritorial
3. Conocimiento en los Técnicas de Interpretación tanto visual como digital y así aplicarlo a otras investigaciones.

**EVALUACION DE LA UTILIDAD DE LAS IMÁGENES RADARSAT EN LA  
EXTRACCION DE INFORMACION DEL ESPACIO BIOFISICO  
(Estudio de Caso Amazonia Colombiana)**

**Yolanda Rubiano Sanabria**

Instituto Geográfico Agustín Codazzi

Carrera 30 48-51, Santa Fe de Bogotá, Colombia

Telefax 47-1-3681047. Email: yrubiano@igac.gov.co

**RESUMEN**

Este trabajo presenta los resultados obtenidos de la interpretación visual monoscópica y estereoscópica; y del análisis digital de imágenes de RADARSAT Standard 7, Standard 3 y Standard 2, en el corredor Leticia – Puerto Nariño, ubicado en el extremo sur oriental de Colombia en límites con Brasil y Venezuela. El trabajo fue desarrollado en cinco fases:

- a) preparación de la información en formatos análogo y digital;
- b) interpretación visual de las imágenes aisladas en formato análogo y del par estereoscópico S7-S3;
- c) interpretación desde pantalla del computador de las imágenes aisladas y de la composición a color S7, S3, S2 (R,G,B);
- d) verificación de las interpretaciones preliminares, con los datos de campo,
- e) edición de cartografía e informe.

Los temas objeto de estudio fueron la geología, geomorfología, cobertura vegetal y uso de la tierra, como factores de cambio que pueden ser asociados a diferentes tipos de suelos. Las imágenes se procesaron en una estación de Trabajo Silicon Graphics usando el programa PCI, los mapas se editaron en los programas AUTOCAD 13 e ILWIS 1.4.

Los resultados obtenidos fueron comparados con los datos provenientes de la interpretación visual y digital de: el cuadrante D las imágenes Landsat TM Path 04 Row 63; con dos imágenes ERS1 de 1992 y 1993; con la cartografía análoga existente y con datos de campo, a fin de determinar el aporte de las imágenes RADARSAT, en la identificación de nuevos rasgos que permitieran la identificación de unidades geomorfológicas y/o geológicas, los cuales podrían estar asociadas a clases de suelos no cartografiadas con antelación.

De todas las imágenes utilizadas, se observó que las más eficientes en la discriminación de lineamientos y geoformas fueron la Standard 7, y el par estereoscópico S7-S3, esto gracias a una mayor nitidez de estructuras, al contraste y tonalidad de las mismas y a las diferencias de alturas mínimas que pueden apreciarse en la interpretación de pares de imágenes. También, es importante resaltar el aporte de las imágenes RADARSAT en el mejoramiento de la cartografía de la red de drenajes secundarios, Las nuevas unidades delimitadas, facilitan la comprensión de la interacción de los factores de formación de suelos y la correlación de estos con las distintas posiciones geomorfológicas identificadas y con el grado de disección de los materiales asociado éste a la densidad y forma de los drenajes.

De los objetos presentes en la imagen el que mayor dificultad muestra en su discriminación, es la cobertura vegetal y el uso actual, quizá por la aparente homogeneidad de la vegetación. Con RADARSAT, se logra una separación al nivel de grandes bloques: bosque primario, pasto, rastrojo; en tanto que, con la imagen Landsat, es posible establecer algunas diferencias al interior de dichas clases.

El autor considera bastante promisorio el uso de imágenes RADARSAT en el estudio del espacio biofísico de la Amazonia Colombiana, teniendo en cuenta que esta área, aunque aparentemente bastante homogénea, muestra una megadiversidad, que aún no ha sido convenientemente explicada y que puede ser explorada mediante el análisis integrado de datos, provenientes de diferentes sensores.

## INTRODUCCION

En la década del setenta, el gobierno colombiano emprendió proyectos de cartografía de la Amazonia, usando para ello imágenes de Radar. El objetivo de éste proyecto era estudiar en el ámbito exploratorio, los principales recursos físicos y humanos de la región, con el propósito de trazar lineamientos de planificación y orientar su integración paulatina al proceso de desarrollo del país.

Se logró así, a través de dichos trabajos, realizar un diagnóstico muy general acerca de algunas características de la región tales como la fisiografía, el clima, el potencial hidrológico, la calidad de los suelos, la riqueza florística, faunística y minera. Además, se pusieron de presente los problemas sociales y económicos de la población y se esbozaron algunas de sus posibles soluciones.

Al transcurrir el tiempo, se ha observado que la región amazónica no parece haber acogido aquellas propuestas y programas que han de llevarla a elevar el nivel de vida de sus habitantes y a la utilización racional de sus recursos.

Se hicieron necesarios entonces, el inicio de una serie de estudios apoyados en las nuevas técnicas de teledetección y en los sistemas de información geográfica, los cuales suministrarán a los "tomadores de decisiones" nuevos criterios que les permitan reconocer y afrontar los problemas actuales, mediante la creación de posibles mecanismos de solución, en los que los objetivos sociales, económicos y ambientales satisfagan las crecientes necesidades de autosuficiencia alimentaria, generación de ingresos y conservación ambiental, todos ellos planteados en el marco del desarrollo sostenido, precepto básico para la convivencia del hombre.

Por las características climáticas de la amazonia, la cartografía y estudio de los recursos se ha restringido al uso de imágenes de radar, únicas capaces de ultrapasarse la masa de nubes casi permanente en ésta zona y que en un alto porcentaje disminuye las posibilidades de utilización de productos de sensores que trabajan en la faja del espectro óptico.

Dentro de éste contexto se justifica la realización de trabajos que exploran técnicas avanzadas de procesamiento de imágenes, encaminadas al estudio integrado del medio natural, en áreas apartadas y de difícil acceso, como el estudio de caso que aquí se presenta, en los municipios de Leticia y Puerto Nariño ubicadas al sur del departamento del Amazonas y cuyos objetivos se desglosan a continuación.

## OBJETIVO GENERAL

Evaluar las ventajas de la utilización de las imágenes RADARSAT, en la extracción de información del espacio biofísico en el área de Leticia, Puerto Nariño (departamento del Amazonas).

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Interpretación visual monoscópica y estereoscópica de datos RADARSAT, Landsat TM5 y ERS1.
  - Interpretación digital: En este contexto, se evaluarán los procesos digitales, que realcen las imágenes con el fin de obtener información de los rasgos de geología, geomorfología, suelos, vegetación y/o uso de la tierra.
- Interpretación integrada de los productos mencionados y evaluación de su eficiencia en este tipo de análisis.

## LOCALIZACION

El área de estudio se ubica en el departamento del Amazonas en el denominado corredor Leticia – Puerto Nariño, localizada en el extremo sur oriental de Colombia en límites con Brasil y Venezuela, con una extensión aproximada de 517.000 hectáreas, alturas que oscilan entre 80 y 140 msnm., climáticamente pertenece al Bosque Muy Húmedo Tropical, con precipitaciones superiores a 2.700 mm/año; temperatura promedio anual de 25°C; la humedad relativa oscila entre el 85 y el 90%, con cobertura permanente de nubes de tipo estrato-cúmulo, que ocupa áreas superiores a 10.000 km<sup>2</sup>.

## MATERIALES, EQUIPOS Y PROGRAMAS

Para llevar a cabo el trabajo se utilizaron los datos de las siguientes imágenes:

- Tres imágenes RADARSAT en formatos análogo y digital: con las siguientes características:
  - Radarsat-1 Colombia Orbit 4664 Path Image Standard 2 Asc 25 09 96

- Radarsat-1 Colombia 3 Orbit 7794 Path Image Standard 7 Asc 02 05 97
- Radarsat-1 Colombia 3 GS2 Orbit 7994 Path Image Standard 3 Asc 16 05 97
- Dos imágenes ERS-1 en formato análogo y digital de los años 1992 y 1993.
- Una imagen Landsat TM-5 Path 04 Row 63 Cuadrante 4 de Junio de 1993, en formato digital (7 bandas) de 3500 pixeles por 3200 líneas. El nivel de preprocesamiento incluye correcciones radiométricas y georeferenciación en proyección UTM.
- Dos composiciones a color RGB (5,4,3) de la imagen Landsat 04/63 escala 1:500.000 en papel fotográfico una de Agosto de 1984 y la otra de Junio de 1991 y el cuadrante 4 de la misma imagen de junio de 1993 escala 1:100.000 que cubre, éste último, un área de 185X 170 Kilómetros

Las imágenes se procesaron en una estación de Trabajo Silicon Graphics usando el programa PCI, los mapas se editaron en los programas AUTOCAD 13 e ILWIS 1.4.

## **METODOLOGIA**

Para cumplir con los objetivos planteados el trabajo se ha dividido en cuatro etapas: preparación de información, procesamiento de datos, trabajo de campo y elaboración de informe y cartografía.

### **• Preparación de la información**

Esta tiene que ver con la recopilación y revisión de los datos análogos y digitales provenientes de sensores remotos y de la cartografía de suelos, geología, geomorfología, clima, cobertura vegetal y uso actual, generada por los profesionales de los diferentes grupos de investigación que participan en el Proyecto INPA III, y de la producida con antelación en los proyectos Radargramétrico del Amazonas (PRORADAN, 1979) y Proyecto Apaporis Tabatinga (PAT, 1995).

### **• Interpretación visual monoscópica y estereoscópica**

- Delimitar patrones fotográficos por la variación de tonalidad, textura, forma, patrones de drenaje y de relieve, mediante la identificación preliminar de unidades fotográficas de interpretación sobre las imágenes y observar la respuesta espectral que en ellas correspondan a suelos, agua, vegetación y demás coberturas presentes.
- Hacer un análisis que permita integrar datos auxiliares preexistentes (mapas temáticos) a las unidades fotográficas obtenidas.

### **• Análisis digital**

El análisis digital se llevará a cabo atendiendo las características particulares de las imágenes utilizadas. Así, se efectuará un procesamiento individual para las imágenes de radar y otro para las imágenes de los satélites Landsat y Ers1. El análisis digital incluyó:

- Lectura de datos originales en 16 bits.
- Aplicación de histogramas
- Escalada de imágenes
- Conversión de datos originales de 16 para 8 bits
- Georeferenciación de una imagen patrón (RADARSAT Standard 7)
- Corregistro de imágenes RADARSAT standard 3 y 2.
- Corregistro de imagen Landsat TM5
- Realce de las imágenes mediante la aplicación de filtros y ensanchamiento de histogramas.
- Análisis de componentes principales (imagen óptica)
- Composiciones a color (R,G,B) de RADARSAT S7-S3-S2
- Composiciones a color (R,G,B) de ERS1 1992-1991
- Composiciones a color (R,G,B) de RADARSAT S7-BANDA 5 Y BANDA 4 LANDSAT
- Composiciones a color (R,G,B) de LANDSAT TM5
- Fusión de imágenes IHS

- Interpretación visual desde pantalla de imágenes individuales y productos combinados o fusionadas.
- Trabajo de Campo

El trabajo de campo incluyó un reconocimiento general del área el cual se realizó con el objetivo de verificar la interpretación preliminar de geología, geomorfología, cobertura vegetal y uso actual. Posteriormente, se procedió a la verificación del contenido pedológico de las unidades de paisaje en áreas piloto en las cuales se tomaron datos detallados de los parámetros a involucrar en el análisis, tales como: características de los suelos, las geoformas, datos geológicos, climáticos, de cobertura vegetal y uso de la tierra.

Una vez, concluida la recolección de datos se procedió a la extrapolación a las áreas con características similares las cuales se verificarán mediante observaciones de comprobación. Los datos así obtenidos, se consignarán en un formulario y con ellos se procedió a la producción de la cartografía.

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos fueron comparados con los datos provenientes de la interpretación visual y digital de: el cuadrante D las imagen Landsat TM Path 04 Row 63; con dos imágenes ERS1 de 1992 y 1993; con la cartografía análoga existente y con datos de campo, a fin de determinar el aporte de las imágenes RADARSAT, en la identificación de nuevos rasgos que permitieran la identificación de unidades geomorfológicas y/o geológicas, los cuales podrían estar asociadas a clases de suelos no cartografiadas con antelación.

A partir de las delineaciones logradas con las interpretaciones se procedió al análisis de los datos los cuales se integraron en los mapas de geología, geomorfología, vegetación y uso de la tierra. (Figuras 1, 2 y 3).

De todas las imágenes utilizadas, se observó que las más eficientes en la discriminación de lineamientos y geoformas fueron la Standard 7, y el par estereoscópico S7-S3, esto gracias a una mayor nitidez de estructuras, al contraste y tonalidad de las mismas y a las diferencias de alturas mínimas que pueden apreciarse en la interpretación de pares de imágenes. También, es importante resaltar el aporte de las imágenes RADARSAT en el mejoramiento de la cartografía de la red de drenajes secundarios,

Las nuevas unidades delimitadas, facilitan la comprensión de la interacción de los factores de formación de suelos y la correlación de estos con las distintas posiciones geomorfológicas identificadas y con el grado de disección de los materiales asociado éste a la densidad y forma de los drenajes.

De los objetos presentes en la imagen el que mayor dificultad muestra en su discriminación, es la cobertura vegetal y el uso actual, quizá por la aparente homogeneidad de la vegetación. Con RADARSAT, se logra una separación al nivel de grandes bloques: bosque primario, pasto, rastrojo; en tanto que, con la imagen Landsat, es posible establecer algunas diferencias al interior de dichas clases.

## BIBLIOGRAFIA

Bignelli, P.A. Avaliação dos Dados de Radar (SAR) do Projeto SAREX-92 e ERS-1em Mapeamento Geológico na Região de Salobo, Provincia Mineral de Carajás. São José dos Campos. INPE (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, no prelo). 1994. 124 p.

Dallemand, J.F.; Lichtenegger, J.; Kaufman, V.; Paudyal, D.R.; Reichert, P. Combined Analysis of ERS-1 and Visible/Infrared Remote Sensing Data for Land Cover/Land Use Mapping in a Tropical Zone: a Case Study in Guinea. In: ERS-1 Symposium: Space at the Service of Our Environment 1. , Cannes, France, 4--6 Nov. 1992. Proceeding. Noordwijk, The Netherlands, ESA, 1993. V.2, p. 555-561.

Hernandez, P.F.; Duarte, V.; Crepani, E.; Florenzano, T.; Medeiros, J.S., Curso de Treinamento para análise de imagens de TM/Landsat como subsídio a o Zoneamento Ecológico – Económico da Amazonia. Secretaria de Assuntos Estratégicos (SAE/PR), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Relatório Técnico. No prelo. 1995. 32 p.

Lee, K.s.; Hoffer, R.M. Analysis of combined sir-B and TM Data for Assessing Biomass. In: 1990 International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS/90). Washington, D.C. Remote Sensing Science for the Nineties. New York, IEEE, 1990. V.2. p. 227-1230.



Mura, J:C.; Shizue, L.S. Programa LESAR. Programa de lectura de datos ERS-1. División de Procesamiento de Imagens. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE. 1994.

NASA. Sar Synthetic Aperture Radar: Instrument Panel Report S.L. (Earth Observing System, V.2f) 1995.

PRORADAM. La Amazonia Colombiana y sus Recursos. Proyecto Radargramétrico del Amazonas. Instituto Geográfico Agustín Codazzi; Ministerio de Defensa Nacional y Centro Interamericano de Fotointerpretación. Bogotá D.E., 1979, 590 p. (25 mapas temáticos).

Vieira, R.V. Métodos de Fusão de Imagens Multisensores da Alta Dimensionalidade. São José dos Campos, INPE. No prelo. 1995, 35 p.

# APORTE DEL PROCESAMIENTO DIGITAL DE LAS IMÁGENES RADARSAT PARA CARTOGRAFÍA DE COBERTURA DEL SUELO DEL AMBIENTE TROPICAL. GOLFO DE URABA, COLOMBIA.

**Elena Possada, Hernando Melo.**  
Instituto Geográfico Agustín Codazzi, CIAF  
Carrera 30 48-51 Santa Fe De Bogotá, Colombia  
Tel.: (571) 368-0950 Fax (571) 368-0948

## RESUMEN

El presente trabajo se desarrollo en la Oficina de Percepción Remota (CIAF) del Instituto Geográfico de Agustín Codazzi (IGAC) de Colombia y forma parte del proyecto GLOBESAR 2. El objetivo principal es la evaluación del uso potencial de las imágenes de RADARSAT para la cartografía de Cobertura y Uso de la Tierra en ambiente tropical de la región del Darién y Golfo de Uraba. Los objetivos específicos constataron del análisis de las técnicas y métodos de procesamiento digital de los datos de radar y experimentación de sinergismo con las imágenes LANDSAT.

Para lograr los objetivos planteados se realizo el procesamiento digital de las imágenes de modo fino (F2 y F5) y las de modo estándar (S1 y S7), corroborando con la interpretación visual, trabajo de campo, revisión bibliográfica y cursos de capacitación. El procesamiento se llevo a cabo en la estación de trabajo de la SILICON GRAPHICS mediante software PCI. versión 6.01.

Durante el desarrollo del proyecto fueron obtenidos conocimientos básicos de radar y métodos de su tratamiento. Con base en esto se lograron resultados muy satisfactorios en cuanto a la cartografía de Cobertura y Uso de la Tierra de la región de la Uraba. Se ejecuto el análisis comparativo de imágenes y se realizo el procesamiento digital con el fin de mejorar los datos y optimizar procesos de cartografía temática. Fueron obtenidas imágenes mejoradas digitalmente en su geometría y radiometría, imágenes de texturas, componentes principales, clasificaciones automáticas, mapas digitales con 13 clases de coberturas del suelo para imágenes de modo ESTANDAR y 11 clases para modo FINO.

Se llevo a la conclusión de la gran potencialidad del uso de imágenes de radar para el estudio de cobertura y uso de la tierra en la región del Darién Colombiano. Igualmente es importante de anotar, que la integración de las técnicas y métodos de procesamiento digital y visual permitan obtener resultados de alta exactitud.

## Introducción

Para realizar los planes de desarrollo sostenible, uno de los mayores retos del gobierno Colombiano, se requiere contar con la información consistente y precisa de los recursos naturales de una región dada. Las características climáticas de la zona hacen que sea casi imposible obtener imágenes ópticos libres de efectos atmosféricos. El uso de los sistemas de radar garantiza la obtención de imágenes libres de nubes y por encima de difíciles condiciones atmosféricas; y han despertado notable interés en las ultimas décadas para los estudios de las regiones tropicales.

Con el lanzamiento del sistema satelital de RADARSAT sé amplio la posibilidad de contar con la cartografía confiable y multitematica del territorio colombiano. Esto los convierte en herramienta de valioso apoyo en la obtención y evaluación de la información sobre los recursos terrestres. Especialmente, si se logra optimizar y mejorar los procedimientos del uso de estas imágenes.

## Objetivos

El objetivo general de este trabajo es evaluar el uso potencial de las imágenes de RADARSAT S1, S7, F2 y F5 para la cartografía de Cobertura y Uso de la Tierra en ambiente tropical de la región del Darién y Golfo de Uraba.

Los objetivos específicos son:

- Aplicar y analizar las técnicas y métodos de procesamiento digital de los datos de radar.
- Experimentar sinergismo de las imágenes de RADARSAT con LANDSAT-TM.

## Area de estudio

El área estudiada se localiza en la región del Darién y Golfo de Uraba de Colombia, ocupando aproximadamente 10.000 km<sup>2</sup> de superficie, ver figura 1. Se caracteriza por una gama de paisajes fluviales, de terrazas, de colinas y de deltas que generan diferentes tipos de coberturas vegetales, pertenecientes a Zona de Vida de Bosque muy Húmedo Tropical. Desde los años sesenta el área esta sometida a una colonización intensiva con fines agrícolas, para siembra de banano y ganadería. Además se encuentra en el proceso de explotación selectiva de madera y agricultura migratoria. Todo esto conlleva a un acelerado proceso de degradación ambiental.

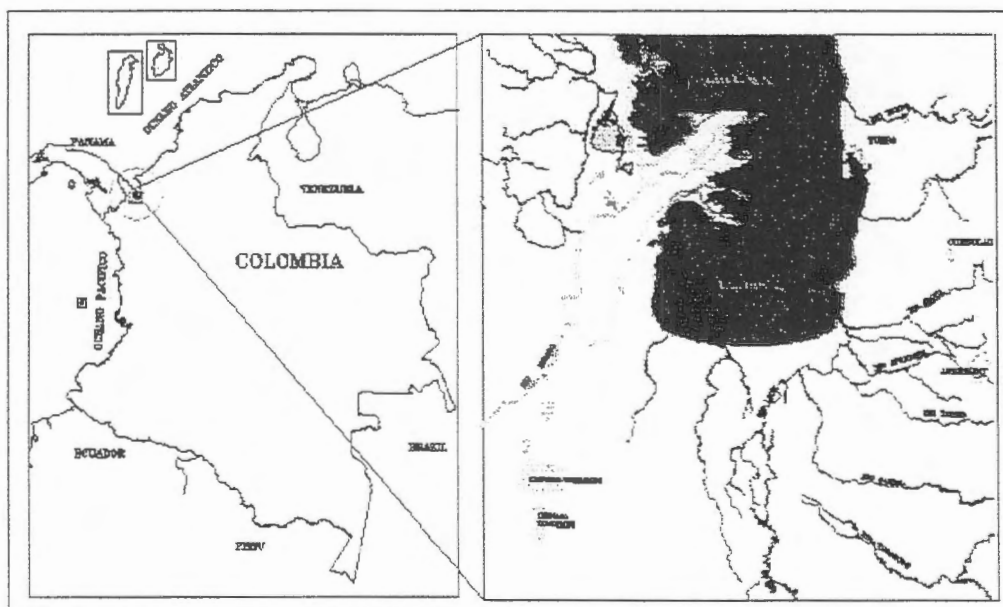


Fig. 1. Ubicación geográfica del área de estudio.

## **Materiales**

Para la realización del estudio fueron utilizados los siguientes materiales:

- Imágenes de RADARSAT de modo ESTÁNDAR S1 y S7 de abril 8 y 28 de 1997 respectivamente.
- Imágenes de RADARSAT de modo FINO F5 y F2 de mayo 5 y 22 de 1997 respectivamente.
- Imágenes de LANDSAT - TM 5, PATH 10 Y ROWS 54 y 55, de 1995.
- Software PCI, versión 6.01, de la SILICON GRAPHICS, bajo UNIX.

## **Metodología**

La metodología del trabajo se enfoca en el procesamiento digital de datos de radar del sistema RADARSAT, apoyándose con las técnicas de interpretación visual y sinergismo con imágenes de LANDSAT-TM. La interpretación realizada corresponde al Sistema de Clasificación de Cobertura y Uso de la Tierra del CIAF. Para lograr los objetivos planteados fueron realizados siguientes etapas:

- Lectura de las imágenes de RADARSAT y LANDSAT-TM en sus formatos originales y su análisis estadístico y visual.
- Recorte de ventanas de entrenamientos de las imágenes S7 y F2 y la aplicación de filtros de eliminación del ruido de speckle noise. Filtros utilizados: FKUAN, GAMMA, FLEE, MEDIAN, y FEFROST. Se aplicaron y se analizaron los tres tamaños de matrices: 3x3, 5x5, y 7x7. En ambos casos el filtro FKUAN de 7x7 se determino como mejor en cuanto a eliminación del speckle y conservación de bordes y características lineales de imágenes. Este ultimo, posteriormente fue aplicado sobre escenas completas de las cuatro imágenes de RADARSAT.
- Debido al poco espacio en el disco duro las imágenes de radar fueron promediadas, mediante el programa IIIAVG y escaladas a 8 bits. Después del análisis visual de las imágenes originales y procesadas no se encontró la alteración alguna en cuanto a iterpretabilidad de la escena. Para mejorar presentación visual de los datos se aplico el realce de tipo ecualizado de manera permanente.
- Con el fin de realizar el sinergismo, las imágenes de radar S1 y S7 fueron georeferenciados y unidos con el mosaico de las dos escenas consecutivas de LANDSAT-TM. Se calculo RGB y IHS de las bandas 3, 4 y 5 de LANDSAT. La banda 3 correspondiente a la Intensidad (I) fue reemplazada por la imagen de radar S1. De nuevo se corrió el programa de RGB y se realizo la fusión mediante programa FUSE. Igual proceso se ejecuta con la imagen de radar S7. Posteriormente, sé experimento reemplazo de la imagen de radar S7 por Matiz (H) y por Saturación (S). Los productos obtenidos fueron analizados en cuanto a su

mejoramiento de interpretabilidad de distintas coberturas. Adicionalmente, los resultados de sinergismo se compararon con las composiciones a falso color obtenidas a partir de la combinación de las imágenes S1 y S7.

- Las imágenes S1, S7 Y bandas 2,3,4 y 5 de LANDSAT se utilizaron para calcular los componentes principales. Fueron obtenidos las seis componentes principales, sobre las cuales realizo análisis visual.
- Se experimentaron las clasificaciones automáticas. Se utilizaron los algoritmos no-supervisados K-MEANS y ISODATA y algoritmo supervisado MÁXIMA VEROSIMILITUD. Como entrada se utilizaron las dos imágenes de radar S1 y S7 en combinación con las bandas 2, 3, 4 y 5 de LANDSAT. Igualmente, fueron realizadas clasificaciones empleando las seis componentes principales.
- A partir de las imágenes originales y mejoradas se realizo la interpretación visual sobre la pantalla de la computadora, obteniendo como resultado un mapa de Cobertura y Uso de la Tierra a nivel del levantamiento general.
- Por otro lado, se realizo el procesamiento digital de la imagen de modo Fino F2. El enfoque fue analizar la utilidad programa de calculo de texturas (TEX). La textura es una de las características más importantes para la identificación de objetos o regiones de interés en las imágenes de radar. Así, como las características espectrales de las imágenes ópticas describen el promedio de variaciones tonales en diferentes bandas de las imágenes, las características texturales de las imágenes de radar contienen la información sobre la distribución espacial de variaciones tonales dentro la única banda que poseen. Para aprovechar la información textural, se calcularon y se analizaron visualmente 12 imágenes de texturas a partir de los algoritmos texturales disponibles en el software PCI. La dirección de la matriz de co-ocurencia fue tomada por default. 0 -1.
- A partir de la imagen original y seis mejores texturas se realizaron las clasificaciones automáticas, utilizando algoritmos: K-MEANS, ISODATA y Máxima Verosimilitud.
- Para terminar, las imágenes de S1, S7, F2 y F5 en formato de 8 bits se integraron en una sola base de datos. Se aplicaron las RGB, calculo de componentes principales y las clasificaciones automáticas. Se realizo análisis comparativo de cada una de las imágenes por separado y conjuntamente, en cuanto a su potencialidad de producir la cartografía temática. Se ejecuto interpretación visual sobre el monitor de la computadora de las imágenes de modo fino (F2 y F5), apoyándose con las imágenes de modo Standard y productos mejorados.

## Resultados

Como uno de los importantes resultados del proyecto se considera la profundización de los conocimientos conceptuales sobre la teoría de radar y métodos de tratamiento

de sus datos. Con base en esto se lograron los resultados muy satisfactorios en cuanto a la cartografía temática de Cobertura y Uso de la Tierra de la región de la Uraba.

Durante análisis general de las imágenes de RADARSAT se encontró que estos estaban afectados negativamente por el ruido coherente con las imágenes de radar, denominado como "Speckle noise." Mediante la aplicación de los filtros FKUAN, GAMMA, FLEE, MEDIAN y FEFROST fueron producidas imágenes mejoradas radiométricamente. El mejor resultado presenta algoritmo FKUAN de 7x7. Se lograron las imágenes libres significativamente del ruido, conservando los límites de bordes de las superficies contratantes y las características lineales de las carreteras, drenajes menores y la infraestructura de la parte urbana.

Para utilizar mejor el espacio del disco duro se realizó la conversión de datos originales de radar de 16 bits Unsigned a 8 bits. Este proceso no afectó la interpretabilidad visual de las imágenes.

Mediante sinergismo de RADARSAT y LANDSAT se logró obtener imágenes mejoradas, en cuanto a la interpretación temática. Sin embargo, alta cobertura de nubes presente en la imagen óptica no permitió utilizar óptimamente este producto. Por otro lado, se comparó la imagen sinérgica con la composición a falso color a partir de imágenes de radar. Se encontró que el último producto es suficientemente bueno para ser utilizado independientemente, con el propósito de interpretación visual de diferentes tipos de coberturas del área estudiada. Así como ejemplo, se facilitó la identificación y delimitación del bosque del mangle.

Cálculo de los componentes principales a partir de las cuatro imágenes de RADARSAT permiten resaltar las características específicas de las coberturas estudiadas. Se considera, que aun este concepto es propiamente aplicable a las imágenes ópticas, es importante investigar a mayor profundidad este tema en relación con los datos de radar.

La textura es una de las más importantes características de las imágenes de radar. Las 12 imágenes de texturas obtenidas a partir de RADARSAT-F2, indican la potencialidad de uso de estos en los procesos de clasificaciones automáticas y interpretación visual. Sin embargo se requiere de mayor conocimiento teórico-práctico en cuanto al análisis de los resultados producidos.

Las clasificaciones automáticas mediante los algoritmos no-supervisados K-MEANS y ISODATA y algoritmo supervisado MÁXIMA VEROSIMILITUD presentaron los resultados bastante satisfactorios. Se logró obtener los mapas digitales a nivel del levantamiento general, determinando principales coberturas presentes en el área. Estos fueron las siguientes: cuerpos de agua, áreas urbanas, bosque natural, pastos, cultivo de banano en producción y banano no productivo. La exactitud de las clasificaciones fue de 60 a 70 %. Estos resultados se consideran como muy satisfactorios para este caso particular.

A partir de las imágenes originales y mejoradas se realizó la interpretación visual sobre la pantalla de la computadora, obteniendo como resultado mapas de Cobertura y Uso de la Tierra a dos niveles de detalle. Al utilizar como principal entrada las imágenes de



modo Estándar (S1 y S7) se logro el mapa de nivel general. Se determino 13 clases de coberturas del suelo. Estas fueron las siguientes: cuerpos de agua; áreas urbanas; cultivo de banano; pastos limpios; pastos enmalezado; mangle; vegetación de pantano flotante (1); vegetación de pantano herbácea y arbustiva (2); vegetación de pantano con dominio de palmas (3); bosque alto primario; bosque anegadizo; áreas mixtas con predominio de pastos cultivos y rastrojos, y áreas de pastos, rastrojos y bosque intervenidos. En la figura 2 se puede apreciar el mapa de Cobertura y Uso de la Tierra a nivel general.

Con las imágenes de modo Fino (F2 y F5) se elaboro el mapa a nivel semidetallado. Se determinaron 11 clases de coberturas y uso de la tierra. El menor numero de clases se debe a menor área de superficie. Por consiguiente, no todos los tipos de coberturas fueron reportados. En este mapa se logro detallar los limites entre los tipos coberturas, delimitar mejor áreas de pastos limpios y enmalezado y identificar dos tipos de banano. Las clases obtenidas fueron las siguientes: cuerpos de agua; áreas urbanas; pastos limpios; pastos enmalezado; banano en producción; banano no productivo; vegetación de pantano con dominio de palmas (3); vegetación de pantano herbácea y arbustiva (2); bosque anegadizo; áreas mixtas con predominio de pastos cultivos y rastrojos, y áreas mixtas de pastos, rastrojos y bosque intervenidos.

En el cuadro 1. Se presenta resumen de los resultados de mapas producidas mediante procesamiento digital y combinado con la interpretación visual.

Finalmente, se realizo análisis comparativo de cada una de las imágenes de radar por separado y conjuntamente en cuanto a su potencialidad de producir la cartografía de cobertura y uso de la tierra. Se concluyo, que la posibilidad de contar con las imágenes de diferentes resoluciones y ángulos de incidencia, así como la combinación de las técnicas de procesamiento digital con la interpretación visual permite producir información cartográfica detallada y de alta exactitud.

## Conclusiones

- Las imágenes de RADARSAT S1, S7, F2, y F5 demostraron alta aplicabilidad para cartografía de cobertura y uso de la tierra en la región del Darién y Golfo de Uraba.
- Las imágenes de modo Estandar-1 (S1) es altamente recomendables para estudio de arreas con vegetación natural de pantanos.
- La utilización de las imágenes de modo Estandar-7 (S7) es recomendable en áreas planas y/o con relieve poco pronunciado de uso agropecuario.
- Las imágenes de modo Fino (F2 y F5) no presentaron deferencias significativas en cuanto a la extracción de la información sobre tipos de coberturas y usos de la tierra.

- Las imágenes de radar de modo Estándar permiten obtener cartografía a nivel general y de modo Fino a nivel semidetallado.
- En las áreas con relieve pronunciado la interpretación de tipos de coberturas se dificulta.
- El filtro FKUAN de 7x7 presenta mejor resultado en cuanto a la eliminación de Speckle y conservación de las características lineales y bordes.
- Las imágenes de composición a falso color producidas a partir de los datos de radar S1, S7, F2 y F5 mejoran considerablemente la interpretación temática.
- Conversión de datos originales de radar de 16 bits Unsigned a 8 bits no afecta interpretabilidad visual de imágenes.
- El sinergismo de las imágenes de RADARSAT con de LANDSAT no presenta los resultados esperados debido a alta concentración de nubes.
- La clasificación de las imágenes en combinación del dominio espectral y textural permiten obtener el mapa de cobertura y uso de la tierra a nivel general con exactitud satisfactoria.
- Con las clasificaciones no-supervisadas y supervisadas de las imágenes de S1, S7, F2 y F5 se obtuvo los mapas temáticos con exactitud que asila alrededor de 60 – 70%, considerando como resultado satisfactorio.
- Las imágenes de las componentes principales calculados a partir de las cuatro imágenes de RADARSAT permiten resaltar las características de las coberturas estudiadas.
- A partir de la combinación de las técnicas de procesamiento digital y visual se logra obtener los mapas de cobertura y uso de la tierra con mayor detalle y exactitud.

### **Referencias bibliográficas**

1. Elachi C. Spaceborne radar Remote Sensing: Applications and techniques. IEEE PRES, New York, 1988.
2. Sanden van der J., Hoekman D., Bijker W. Radar remote sensing of tropical rain forest: ERS-1 studies in Guyana and Colombia. Final report. Netherlands BCRS project. August 1996.
3. Ulaby F., Moore R., Fung A. Microwave remote sensing. Active and passive. Vol.1. Microwave remote sensing fundamentals and radiometry. Artech House Inc., 1981.
4. Ulaby f., Moore R., Fung A. Microwave remote sensing. Active and passive. Vol.2. Radar remote sensing and surface scattering and emission theory. Artech House Inc., 1986.

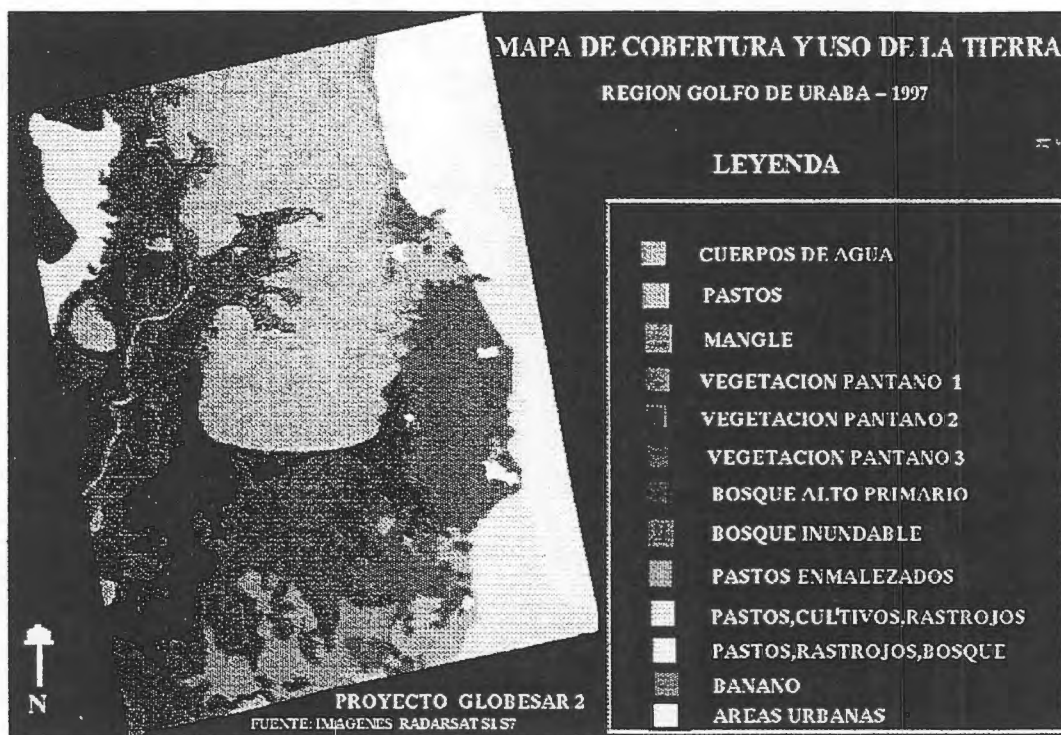


Figura 2. Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra a nivel general.

Clases de cobertura	Kmeans	Isodata	Maxima Verosimilitud	Interpretación visual S1 S7	Interpretación visual F2 F5
Cuerpos agua	+	+	+	+	+
Pastos limpios	+	+	+	+	+
Mangle	no	no	no	+	no
Vegeta. pantano 1	-	-	-	+	+
Vegeta. pantano 2	-	-	-	+	+
Vegeta. pantano 3	no	no	no	+	no
Bosque alto	no	no	no	+	no
Bosque anegadizo	+	+	+	+	+
Pastos con maleza	-	-	-	+	+
Area Urbana	+	+	+	+	+
Pastos, cultivos, rastrojos	-	-	-	+	+
Pastos rastrojos bosque	+	+	+	+	+
Banano 1	+	+	+	+	+
Banano 2	+	+	-	-	+

Cuadro 1. Resumen de los resultados de los mapas producidas mediante clasificaciones digitales y en combinación con interpretación visual. Leyenda: (+) se puede delimitar, (-) no se puede delimitar, (no) no se presenta en área.

# **“ANÁLISIS URBANO Y AGRÍCOLA CON IMÁGENES RADARSAT DE RESOLUCIÓN FINA”.**

**(F1-beam).**

**(Zona de investigación ciudad de Rosario y Gran Rosario-Argentina).**

Proyecto No 29.

Universidad Nacional de Rosario.

Argentina.

Instituto Politécnico Superior-Gral. San Martín.

Departamento de Física.

Laboratorio de Sensores Remotos y SIG.

Investigador Principal: Arq. Carlos Cotlier.

Co-investigadores: Tec. Alejandro Ravenna.

Arq. Mirta Fuentes Huisman.

Ing Agr. Cristina Mondino.

Dirección: Arq. Carlos Cotlier.

Entre Ríos 1019.

4° piso "A".

2000 Rosario.

Argentina.

E-mail: postmaster@unrocu.edu.ar

## **INFORME DE AVANCES EN LA INVESTIGACION.**

Introducción al tema.

La información concerniente a los temas urbanos (incluyendo el nivel y peso regional de las grandes ciudades) y agrícola en países como Argentina requiere constante recolección de datos para el monitoreo, control, y formulación de programas gubernamentales tanto a nivel nacional, provincial o municipal.

Estas políticas pueden variar tanto desde el nivel social, económico, cultural, territorial, como dentro del planeamiento y control del medio ambiente incluyendo los recursos naturales.

El rol de las agencias de planificación se vuelve cada día más complejo y se extiende a una gran cantidad de actividades.

Consecuentemente también crece la necesidad de los entes gubernamentales de obtener información en tiempo, en forma precisa y a un costo razonable de las áreas de interés.

Muchas de estas necesidades son bien provistas por la interpretación de la información satelital.

También la información agrícola concerniente a cosechas y la estimación de futura producción son importantes para la República Argentina ya que sus mayores ingresos por exportaciones están dentro del rubro agrícola-ganadero.

Tanto las ciudades (incluyendo las áreas industriales periféricas) como las áreas agrícolas deben convivir en armonía.

El Laboratorio de Sensores Remotos y SIG del Departamento de Física del Instituto Politécnico Superior de la Universidad Nacional de Rosario-Argentina, está tratando de ayudar a la Provincia de Santa Fe y a la Municipalidad de Rosario a la evaluación de programas de desarrollo mediante la información Satelital de Radar en resolución fina.(beam F1).

Temas a investigar:

- a) Debido a la diferencia de alturas y densidad edilicias de las diferentes zonas de la ciudad, se analizara la respuesta de reflexión de ángulo (corner reflection).
- b) Angulo de incidencia y su respuesta urbana.
- c) Textura urbana.
- c) Características geométricas.
- d) La forma urbana y patrones urbanos por imágenes Fine beam F1.
- e) Tipo de cobertura urbana.
- f) Intrusión urbana (incluida áreas industriales).
- g) Crecimiento de áreas marginales y su monitoreo en forma multitemporal.
- h) Determinación de áreas de predios hortícolas por Imágenes Fine beam1.

### 1) Avances y dificultades en la investigación urbana.

Como paso previo a la investigación por temas y áreas todas las imágenes Radarsat fueron:

⇒ \*Calibradas.

⇒ \*Georreferenciadas, con la ayuda de un GPS, Garmin 38, se utilizaron unos 20 GCP (Ground Control Point) para la imagen de Enero 97 y así sucesivamente para las otras tres restantes.

Se utilizo de referencia el sistema Geográfico Argentino "Campo Inchauspe".

⇒ \*Se utilizo como material de apoyo una imagen SPOT, banda pancromática del año 1987. La que se georreferenció.

⇒ \*Se registraron las imágenes lográndose de esta manera una perfecta coincidencia de igualdad geográfica y de correspondencia en los pixeles de las 5 imágenes de estudio.

⇒ \*Se aplicó el Filtro de Frost Resaltado (Enhaced Frost Filter).

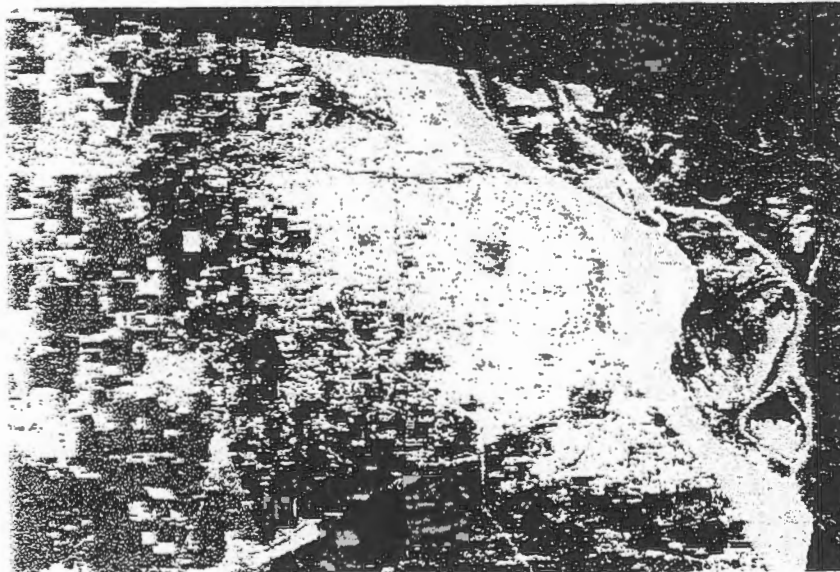


IMAGEN RADARSAT F 1 Beam-5 Abril 1997+Imagen SPOT Pancromático 1987.

a) Problemas y beneficios de “Corner Reflection”

ab) Problemas de reflexión de ángulo en la elección de las imágenes (ascendentes o descendentes)

La intensidad de la reflexión de ángulo en las áreas urbanas está en directa relación entre la dirección de iluminación del radar y la orientación geométrica del tejido urbano.

Gran parte de las ciudades de Latinoamérica (a diferencia de otras partes del mundo: Europa, Asia) fueron diseñadas basadas en las regulaciones coloniales derivadas de las leyes de Indias impartidas desde España.

Distintos son los casos de ciudades europeas como Viena o París que crecieron sobrepasando los muros de defensa muchas veces de forma curva dando un tejido urbano particular y distinto y con zonas de calles en forma radial.

Sin que esto se constituya en una regla absoluta, es así como la mayor parte de las grandes metrópolis de Hispano América fueron conformadas a partir de un “fuerte” o emplazamiento inicial de “defensa de asentamientos”, dentro del mismo se encontraba una “plaza”, una capilla y la sede de autoridades; caídos los muros de los fuertes iniciales, al correr del tiempo, se siguió con este tipo de disposición:

1-Una plaza mayor generalmente de tamaño cuadrangular o rectangular.

2-Capilla y Cabildo alrededor de la plaza mayor.

3-Desde la plaza mayor se generaba una forma de estructura urbana del tipo de “manzanas” de forma regular y calles cuyas medias eran en varas castellanas(150 varas).

Esto conformó la típica forma de “damero” urbano.

Es justamente este tipo de “damero urbano” el que está en directa relación y define gran parte de la reflexión de ángulo (corner reflection) en nuestro caso, ya que hay una directa relación entre la forma geométrica del objetivo iluminado (techos y muros) por el radar como también el tipo de material de que están constituidos y la intensidad de la reflexión de ángulo.

En el caso de Rosario, una ciudad de llanura, se dio la coincidencia (no muy afortunada) de que la iluminación de las imágenes del tipo descendentes tomadas en los meses de Enero, Febrero y Marzo de 1997, para la realización de falso color compuesto, coincidió casi perpendicularmente el rayo (F1-beam) de iluminación con el ordenamiento de las manzanas de gran parte de la zona céntrica de la ciudad, como resultado se obtuvo una fuerte reflexión de ángulo haciendo confuso tanto el análisis digital como visual.

Esto fue corregido cambiando la iluminación del blanco con una toma de imagen del mes de Abril ascendente, en este caso el resultado fue excelente, un ángulo de iluminación diferente permitió un cambio total en la obtención de resultados.

Como beneficios de lo expuesto, se pudo observar que la utilización de imágenes de resolución fina, descendentes y ascendentes de Radarsat Fine beam 1 se complementan muy bien para quien intente un completo análisis de la forma urbana mediante radar ya que las zonas con fuerte reflexión de ángulo en una, cambia o se atenúa notablemente en la otra, permitiendo así una complementación de la información en toda el área urbana por el efecto de la orientación “cardenal cruzada” (cardinal effect), es decir lo que no es buena información tanto visual como digital en una lo es buena en la otra y viceversa.

(ver imágenes n° )

ac) Ángulo de incidencia como herramienta de identificación.

Definiendo al ángulo de incidencia como el ángulo formado por el haz de microondas y una línea perpendicular a la superficie en el punto de incidencia.



Se puede afirmar que en una imagen urbana el ángulo de incidencia cambia rápida y constantemente en una ciudad como Rosario con infinidad de tipos de techos dispersos dentro de su enorme tejido urbano.

Ángulos de incidencia pequeños producen pobres “resoluciones de rango” (range resolution), ángulos de incidencia mayores producen mejores “resoluciones de rango”.

No es fácil utilizar el ángulo de incidencia para el reconocimiento de tipología de vivienda en áreas pequeñas a pesar de las excelentes posibilidades que brinda el tipo F-1 Beam de Radarsat, con una resolución real de hasta 6.25 metros por pixel.

Se busco dentro de la estructura urbana sectores o zonas para un estudio “tipo”.

Las áreas elegidas (de diferentes tamaños) hasta el momento son dos:

1-La zona de casas de techos de tejas españolas construidas en la década de 1950, con las características de ser techos de dos aguas con una inclinación de aproximadamente 70 grados. Ubicada en la zona sur de la ciudad, el área tiene una extensión de tres manzanas de largo por dos de ancho.

El resultado que se encuentra todavía en evaluación anticiparía que el área se diferencia de las construcciones circundantes, y que es necesario analizar con mas profundidad el tema de ángulo de incidencia sobre esta área urbana.

2-La zona de Parque Field área contruida en la década de los años 1960 a 1970, con techos de similar características a la zona 1; el área de Parque Field al ser más grande permite una mayor visualización y análisis digital.

Esta área esta en avance de estudio.

b)Áreas de crecimiento urbana, información por la superposición de datos de Imágenes Radarsat F1 y SPOT.

La obtención de una imagen SPOT de la banda pancromática, de archivo (año 1987), permitió la comparación multitemporal de todo tipo de cambio.

Principalmente se pretende el estudio de dos temas en relación con el tiempo.

1-El crecimiento de “Asentamientos Irregulares” dentro del radio urbano y zonas de influencia.

2-El monitoreo de la intrusión urbana dentro de las zonas agrícolas especialmente dentro del hinterland, (urban fringe).

1-“Asentamientos Irregulares”.(AI)

Desde la década de 1940, la pobreza urbana se vio incrementada en América Latina por el fenómeno de migración desde las áreas rurales a los grandes centros urbanos.

Distintos nombres reciben estos asentamientos en Latinoamérica para un mismo problema social: Villas Miserias en Argentina, Fabelas en Brasil, Barriadas en Perú, Callampas en Chile, etc.

Este proceso migratorio se incrementó en la Argentina durante las décadas de los años 90 a nuestros días por la suma de inmigrantes de países vecinos alentados por una moneda estable con paridad al dólar norteamericano.

Actualmente a los grupos antes mencionados se les incorporan los locales que han sufrido un notable descenso en su situación económica y social como así también el crecimiento demográfico medio de dichas poblaciones.

Estas áreas urbanas son una constante preocupación para los gobiernos nacionales y locales por su alto potencial de estallido social sumado a los altos niveles delictuales propios de las zonas de extrema pobreza.

El monitoreo de sus crecimientos es un interés gubernamental permanente en Argentina.

Los sensores remotos tienen un potencial no muy utilizado todavía en el monitoreo de estas áreas.

El Radar por su capacidad de responder al efecto dieléctrico de la superficie de los materiales, es una herramienta útil para la localización de elementos metálicos.

Altas constantes dieléctricas, ayudadas por la orientación y ángulo de incidencia contribuyen a un fuerte retorno de los elementos metálicos, puentes, silos, techos metálicos, etc.

Teniendo en cuenta que casi el 100% de los techos de las viviendas de estos asentamientos irregulares son de chapas de zinc, se intenta utilizar el modo Fino (Fine Beam 1) de Radarsat con un pixel de alta resolución para la determinación de techos metálicos en zonas ya preestablecidas como áreas de "crecimiento irregular" o "asentamientos irregulares".

La respuesta obtenida.

Se consideraron dos áreas como principio para el estudio.

1-Asentamiento:"Villa Banana", cubre una extensa área de la zona oeste de la ciudad.

Población estimada 1122 familias-4591 personas, censo realizado en 1995 por el Servicio Público de la Vivienda.

2-Asentamiento:"Puente Molino Blanco" en la Zona sur y límite del municipio.

Imagen n°2

Población estimada 595 familias-3034 personas. Censo idem anterior.

Proceso digital de ambas zonas:

Subset de la imagen general de Rosario.

Aplicación de análisis de medición de textura(Texture measures),se aplicó el método de análisis para medir texturas en forma matemática MEANS.(PCI)

Se colocó en el canal 1 la imagen SPOT.

en el canal 2 la imagen Radarsat 4 Abril-filtro Frost Enhanced.

en el canal 3 la imagen con método MEANS (PCI) de medición de textura.

	1	2	3	
R			*	
G	*			⇒Panel de control PCI.
B		*		

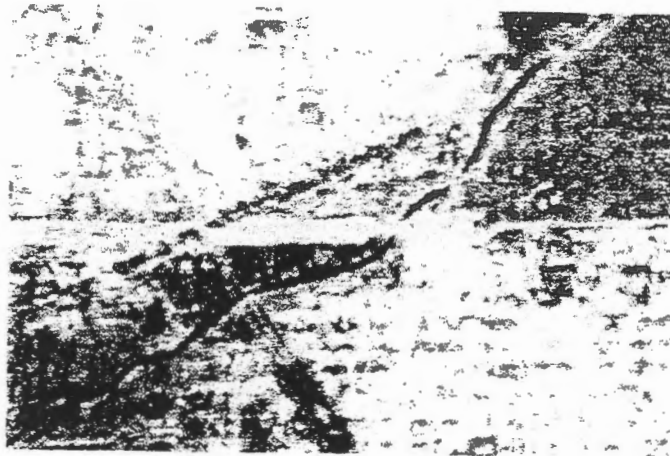
**Resultados:**

Se puede observar que el método de análisis aplicado da buen resultado para diferenciación de áreas con vegetación silvestre como el cercano Parque Sur(Molino Blanco) y áreas con vegetación y fuerte presencia dentro de ellas de techos de zinc, recurso utilizado como cobertura de vivienda en zonas de AI.

La zona de AI con vegetación y fuerte presencia de techos de zinc tiene un color magenta brillante ⇒ respuesta de color que estaría dada por la mezcla de techos metálicos(que tienen un fuerte "backscattering" brillante en la banda C) y la vegetación silvestre que los rodea.

Las zonas de vegetación silvestre sin presencia de retrodispersión de zinc se ven de color verde oscuro, mientras que las zonas de pavimento, Av. de Circunvalación , calles, etc, se ven en un color verde brillante.

Por último la ciudad con viviendas de cemento y otros tipos de techos dan como resultado un color blanco brillante debido al fuerte efecto de ángulo (corner reflection) en esto se mezcla también viviendas y galpones propios del tejido urbano regular.



También como método de comprobación del anterior se realizó una imagen en falso color compuesto partiendo de una imagen SPOT(Banda pancromática) y una imagen Radarsat F1 beam.

Proceso de obtención de la imagen :

Se trabajo con la imagen RADARSAT calibrada y georreferenciada con el uso de unos 20 GCP.  
Se realizó la registración de la imagen de radar sobre la SPOT previamente georreferenciada.  
Se aplico Filtro de Frost mejorado (Frost enhanced).

Se realizó el falso color compuesto colocando la imagen SPOT en canal 1(R), la Radar con filtro Frost en el canal 2(G) y la sustracción de ambas en el canal 3(B).

⇒Source=4%-1-%3

1 2 3  
R \*  
G \*  
B \*

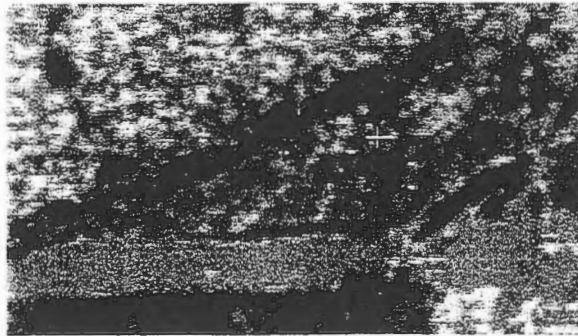
Resultados obtenidos:

Igual que en la imagen anterior se puede observar que el método da buen resultado para la diferenciación de áreas de AI.

Los AI se observan en color verde claro brillante pudiéndose observar en el área de los AI puntos brillantes blancos provenientes de los techos de Zinc de las casillas de viviendas.

Las zonas de vegetación silvestre sin presencia de zinc se ven en color verde oscuro con una textura completamente diferente, las calles del tejido urbano como también la autopista se observa de color violeta.

Fig. n°



Subset imagen Molino Blanco.



Subset imagen Villa B.

Clasificación No Supervisada de las dos áreas.

Resultados.

La respuesta fue similar en ambas zonas de estudio, dentro de un máximo de 16 clases solicitados las zonas de AI se delimitaron con color amarillo claro y ocre. La zona con mayor vegetación fue clasificada con color azul. Las zonas con vegetación que no contienen dentro de ellas techos de zinc colr morado. Por último las construcciones regulares de mampostería y hormigón de color rosado y blanco.

La imagen se visualizó con un realce (enhacement) del tipo raíz cuadrada.

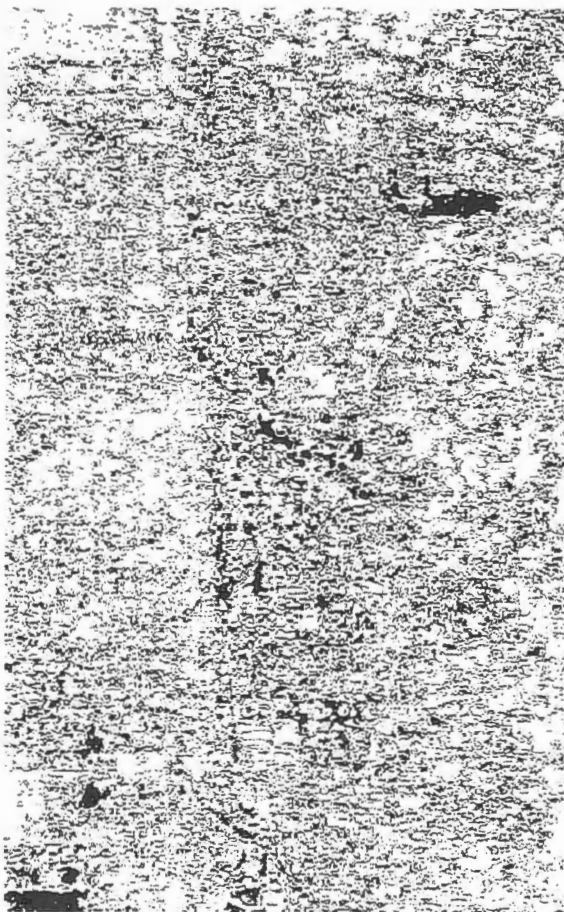
K-Means parameters ⇒maximun class value 16.

Maximun interaction value 16.

Sample size value 262144.

Minthreshold value 0.010000.

Ver Fig. n°



**Clasificación no supervisada Molino Blanco.**

**Clasificación no supervisada. Villa B.**

## **2) Avances y dificultades en la investigación hortícola.**

### **Objetivo:**

*Determinar hasta donde las imágenes RADARSAT de resolución fina son útiles para identificación individual de lotes y cultivos en agricultura de precisión.*

**a) Problemas y estudio de soluciones para la, georreferenciación e identificación de cultivos en pequeños lotes hortícolas con imágenes RADARSAT.**

**El problema a resolver en nuestro caso es la dificultad de identificación individual de los lotes por las siguientes causas:**

- 1- Los lotes hortícolas en las cercanías de Rosario son muy pequeños.
- 2- La gran cantidad de los mismos.
- 3- Los caminos entre los predios son muy pequeños y de tierra, lo que dificulta o hace casi nula la visualización de rutas. (cruces de caminos etc.)
- 4- La textura es casi homogénea entre los predios lo que hace difícil definir contornos dentro de la gama del gris.
- 5- Variedad en los tipos de cultivos (se mezcla todo).
- 6- Al ser todo tan homogéneo (gris) es difícil definir tipos de cultivos.

### **EL GPS**

**Dentro de los problemas para la georreferenciar lotes hortícolas nos encontramos que la precisión del GPS (se entiende como resultado obtenido y no como la precisión teórica de manual del aparato) debería ser de por los menos 25 a 30 metros reales.**

Con el GPS Garmin 38 utilizado se ha obtenido una georreferenciación con un error aproximado de 60 metros (que no es lo buscado), sin embargo las primeras comprobaciones de campo indican que este error permitiría la localización de los predios en forma eficiente.

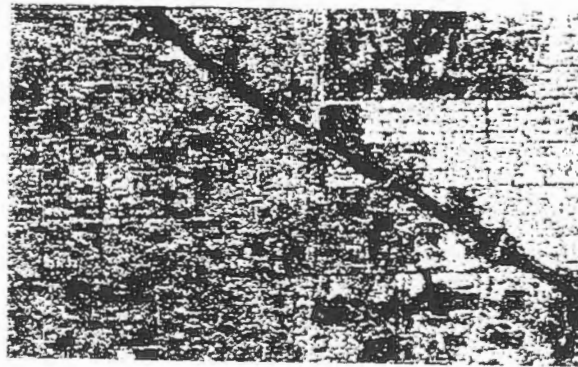
b) Propuestas para obtener resultados (en avance):

Identificación de lotes por falso color compuesto de imágenes Radarsat F1

Como ya mencionamos anteriormente el problema que presenta la identificación individual de lotes hortícolas es justamente el pequeño tamaño de los mismos, la fuerte división de la tierra como también la gran cantidad de lotes pequeños

Se realizó un falso color compuesto con las imágenes de Enero, Febrero y Marzo.

Ver Fig. n°



En la observación de la imagen se puede observar que los lotes que eran difíciles de diferenciar en tonos grises se pueden observar con más definición y con una amplia variedad de colores.

Esto nos alentó a volver a campo y se está realizando un nuevo trabajo de uso de GPS e identificación de lotes "muestra", para luego tratar de digitalizar con Arc-Info y tratar de lograr información más precisa.

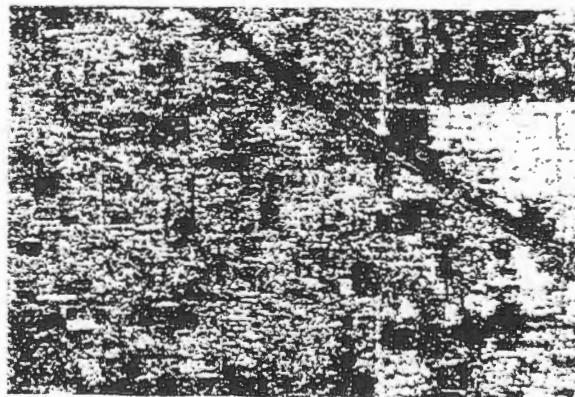


Imagen Radarsat F1 Enero 97+ Imagen SPOT Pancromático 1987.

# ANÁLISIS DE IMÁGENES RADARSAT PARA LA OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN A UTILIZAR EN EVALUACIÓN DE TIERRAS

**Fernando Pino Silva (1)**  
Universidad de Chile  
email: fpino@abello.dic.uchile.cl

**Roberto Richardson V.(2)**  
Universidad de Santiago de Chile  
email: rrichard@lauca.usach.cl

## ABSTRACT

La utilización de tres imágenes RADARSAT en modo fino descendente , de tres fechas (marzo, agosto y noviembre de 1997), para realizar una comparación entre ellas, forman parte de esta presentación. Una etapa importante de este trabajo es el preprocesamiento digital de dichas imágenes, a fin de aplicar después un análisis de tono y textura.

Luego se lleva a cabo una clasificación supervisada con la intención de identificar el uso del suelo actual en la Comuna de Curicó y romeral, en la Región del Maule. Lo anterior es de gran importancia para la generación de información a ser empleada posteriormente en una clasificación de tierras.

El reconocimiento de los sectores que presentan una cubierta dedicada a frutales es uno de los objetivos fundamentales del proyecto. Estos sectores son adecuadamente observables tanto desde el punto de vista del tono, como de la textura en las tres fechas.

El análisis de textura utilizado, ha permitido separar los frutales de otros tipos de cobertura del suelo satisfactoriamente.

- 
1. *Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Departamento de Geografía, Fono:562 6783024, FAX:56 2 22295222.*
  2. *Universidad de Santiago de Chile, Facultad de Ingeniería , Departamento de Ingeniería Geográfica, Fono/FAX: 56 2 6811213*



## INTRODUCCIÓN

La potencialidad de las imágenes de Radar para aplicaciones agrícolas ha sido ampliamente demostrada en diferentes trabajos realizados tanto en Canadá como en América Latina (Dixon y Brown, 1997; Staenz, Mc Nairn et al, 1997; Touré, 1997; Salmuni, Maraz, Ibañez, y Kulichevski, 1997). En todos ellos la utilización de imágenes en modo Fino y/o Standard, así como la combinación con otro tipo de productos principalmente Imágenes TM, ha permitido obtener valiosa información en la identificación de diferentes tipos de cobertura vegetal, tanto natural como artificial.

Por otra parte, Machado, Cavalcanti et al, (1997) han encontrado que la combinación de imágenes RADARSAT y TM, en Brasil Central (Serra da Mesa ), ha facilitado la realización de clasificaciones de la cobertura vegetal y del uso del suelo, permitiendo discriminar muy bien entre bosque plantado y vegetación natural, así como en la identificación de los campos dedicados a la agricultura.

Del mismo modo el estudio de la influencia que ejercen factores naturales como la topografía, la pendiente y el aspecto, o bien las condiciones atmosféricas (lluvias) sobre la imagen de radar ha permitido establecer la viabilidad de la utilización de las imágenes RADARSAT en la discriminación de las variaciones texturales del suelo, variable que a su vez se relaciona directamente con el uso del suelo y en consecuencia con las posibilidades de aprovechamiento agrícola y frutícola de la tierra (Dempsey, Barnett, Kenny y Gibson, 1997).

Finalmente hemos considerado de importancia la resolución espacial de las imágenes RADARSAT (tamaño del pixel), lo cual nos ha permitido enfrentar la clasificación de tierras a una escala de semidetalle, muy apropiada para los fines propuestos.

En el proyecto del cual forma parte esta presentación, se espera combinar la metodología asociada al procesamiento digital de imágenes de Radar, con los esquemas de clasificación de tierras propuestos por la FAO, de modo de obtener una clasificación que permita determinar áreas susceptibles de utilizar en la localización de población rural en las comunas de Curicó y Romeral.

## ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a la Región del Maule y específicamente a la Provincia de Curicó. Aquí hemos decidido realizar la proposición de una evaluación de tierras para las comunas de Curicó y Romeral.

Diversos trabajos realizados por CRUZ (1990), PINO, (1992 y 1993), RIFFO (1992, 1993) y otros, han demostrado que un porcentaje significativo de la mano de obra requerida en actividades de huerto y paking en la provincia de Curicó debe ser cubierto por trabajadores provenientes de otras regiones del país, y de otras provincias de la propia región.

En consecuencia, la concentración de la población en Villorrios o aldeas rurales funcionales a los centros productivos, podría significar un acceso más expedito de la mano de obra a su fuente laboral, siempre y cuando su localización considere las distancias a las áreas productoras y a los centros de servicios.

De allí la importancia de encontrar áreas próximas a los sectores donde se ubican las plantaciones de frutales, para localizar dicha población.

#### **Localización y Accesibilidad**

- El área de estudio se localiza en Chile Central en una región tradicionalmente agrícola, ocupando parte importante de la Depresión Intermedia en el sector nororiental de la región.

Desde el punto de vista de la accesibilidad, el área presenta una ubicación privilegiada. En efecto, los sectores rurales de ambas comunas gozan de conexiones expeditas con la carretera panamericana (Longitudinal 5), que es la principal vía de articulación entre las regiones de nuestro país.

Del mismo modo, el acceso y los desplazamientos hacia el principal centro urbano de la provincia también se pueden definir como expeditos.

Toda la zona central donde se ubica la zona de estudio del proyecto, queda enmarcada en el clima tipo mediterráneo, característica que se acentúa en la cordillera, influida por el mar y la corriente de Humboldt, en la costa. Estos factores tienen una importante incidencia en los regímenes de las temperaturas y las precipitaciones.

Las temperaturas máximas están por sobre los 19 grados celcius, alcanzando en los meses de verano hasta los 32 grados celcius. Sigue a esta condición climática un período de lluvias que se extiende desde abril a octubre (otoño e invierno).

Respecto de los suelos, las características morfológicas, climáticas e hidrográficas dan a la región condiciones pedogenéticas muy similares a las de otras regiones de Chile Central.

Los suelos aluviales de la Depresión Central son extremadamente

jóvenes, con cierta acidez y contenido de materia orgánica, formados por materiales de acarreo andino de origen fluvio-glacio-volcánico, y son utilizados intensamente en la agricultura de la región.

En relación a la vegetación es posible encontrar un conjunto de formaciones vegetales que se localizan principalmente en los sectores de la Cordillera de la Costa y de los Andes respectivamente.

La depresión central ha sido fuertemente intervenida y en ella predomina el uso del suelo agrícola, siendo muy local y puntual la presencia de vegetación nativa (OLAVE, 1985)

Algunas de las formaciones vegetales más representativas se indican a continuación:

La Estepa de *Acacia caven*, consiste en individuos vegetales típicos de ambientes mesomórficos, encontrándose su dominio en los cordones más orientales de la Cordillera de la Costa.

Otra formación importante es el Bosque Esclerófilo, que se localiza principalmente en la unidad morfológica denominada como montaña o precordillera, constituida por suelos sedimentarios de origen fluvio-glacio-volcánico, se trata de un bosque intervenido con una fisonomía de bosque claro y abierto muy bajo.

Finalmente desde el punto de vista de la población, de las comunas del área de estudio tenemos que la población total de la comuna de Curicó al año 1992 alcanzó a 104.113 habitantes, de los cuales 80.343 son catalogados como urbanos y 23.770 como rurales. En la comuna de Romeral el total de población se estimó en 11.490 habitantes, de los cuales 9.015 son rurales y sólo 2.475 son urbanos.

#### OBJETIVOS

Utilizar imágenes RADARSAT en la generación de información relacionada con el uso actual de la tierra en las comunas estudiadas, así como en el reconocimiento de ciertos tipos de uso del suelo que deberán posteriormente considerarse en la determinación de las cualidades y potencialidades de la tierra.

Evaluar la potencialidad de la data RADARSAT en la identificación de los sectores agrícolas y frutícolas en zonas de latitudes medias

Realizar análisis de tono y textura de las imágenes RADARSAT en modo fino, para así llegar a establecer cual fecha es la que maximiza mejor la identificación de las categorías de cobertura y uso de la tierra definidas.

## **METODOLOGÍA Y MATERIALES**

El esquema metodológico a utilizar considera fases tradicionales en la manipulación de las imágenes de satélite, sin embargo, la secuencia y las etapas a desarrollar en la utilización de las imágenes RADARSAT, se ha visto enriquecida gracias a las sugerencias y proposiciones de Brisco B., 1997 (comunicación personal).

### **ADQUISICIÓN DE DATOS**

La data a utilizar en la investigación corresponde a imágenes RADARSAT las cuales han sido proporcionadas por el Centro Canadiense de Sensores Remotos (CCRS), fueron obtenidas para los meses de marzo (F1), agosto (F1) y noviembre (F4) en modo descendente, todas ellas del año 1997.

- Las fechas de dichas imágenes se escogió considerando la fenología de los tipos de uso de la tierra que presentan interés para el proyecto, por ende son las más adecuadas en términos generales.

La utilización de cartas regulares (IGM) 1: 50.000 y 1: 25.000 en el trabajo de terreno y posteriormente en la digitalización para crear la base cartográfica del proyecto mediante Arc Info, proporciona un DEM y diferentes coberturas que posteriormente son usadas en la georeferenciación de las imágenes.

### **GEOREFERENCIACIÓN**

Una de las actividades importantes de esta etapa consistió en la georeferenciación, la cual se realiza utilizando como apoyo un DEM, construido a partir de la digitalización de la carta regular 1: 50.000 del IGM, con equidistancia de las curvas de nivel cada 25 metros. Los resultados derivados de esta etapa se muestran en la tabla adjunta:

**ANTECEDENTES BÁSICOS DERIVADOS DE LA GEOREFERENCIACION DE  
IMÁGENES RADARSAT**

IMÁGENES RADARSAT	RMS		PUNTOS DE CONTROL	MODELO	ORDEN DEL POLINOMIO
	X	Y			
F1 Marzo	0.94	0.74	15	Convolución cubica	1
F1 Agosto	0.71	0.90	13	Convolución cubica	1
F1 Noviembre	0.23	0.30	15	Convolución cubica	1

Previamente a la georeferenciación y con el objeto de eliminar el ruido (efecto de sal y pimienta) de las imágenes se aplica una reducción de speckle para lo cual se utilizó el filtro FKUAN con una matriz de 7\*7 para las tres imágenes en modo fino.

**ANÁLISIS DE TEXTURA**

En forma paralela a lo anterior se generaron subescenas a las cuales se aplica un análisis de textura con el objeto de establecer cual de las fechas permite una discriminación más óptima de las categorías de uso. Se debe considerar que la textura es un parámetro de gran importancia puesto que ayuda en la identificación de objetos y de áreas de interés. Posteriormente las imágenes resultantes pueden utilizarse en análisis visual y en las clasificaciones.

Se aplica el programa TEX del software PCI a las tres subescenas, luego mediante ensayo y error y después de probar tres opciones (homogeneidad, contraste y mediana) se optó definitivamente por aplicar TEX= MEAN con una ventana de 5\*5. Las figuras adjuntas permiten comparar entre si las diferentes fechas:

Marzo - Agosto  
 Agosto - Noviembre  
 Noviembre - Marzo

**CLASIFICACIÓN**

Se apoya con un intensivo trabajo de terreno tendiente a proporcionar un conjunto de puntos de control (54), los cuales nos permiten posteriormente determinar áreas de entrenamiento , durante la fase de clasificación supervisada. Las categorías o clases a reconocer son las

siguientes: Frutales, cultivos tradicionales, zonas en barbecho, zonas con rastrojo de trigo, construcciones, zonas húmedas.

## RESULTADOS

### Análisis de Textura

En la imagen de marzo (Fig. 1) los tonos más oscuros ( casi negros) se relacionan con las zonas en barbecho, luego en un tono levemente más claro se presentan sectores con rastrojo de trigo, es decir recientemente cosechado. Una textura asociada a un nivel de gris menos que intermedio se relaciona con zonas de cultivos en su etapa inicial.

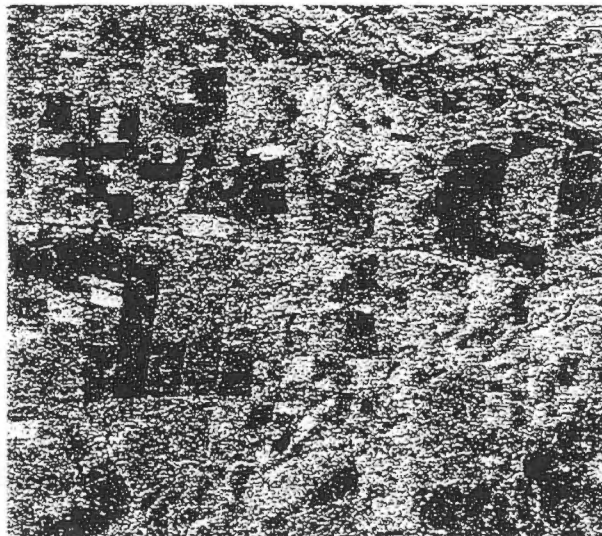


Figura N° 1

Marzo, Modo Fino F1 (desc.) . Análisis de Textura  
TEX = MEAN (5\*5)

Los grises intermedios corresponden básicamente a las áreas de plantaciones de frutales, principalmente manzanos y finalmente los sectores con más brillo o de mayor claridad se asocian con zonas de cultivo bajo riego reciente, en consecuencia con altos contenidos de humedad.



La imagen de agosto (Fig. 2) a diferencia de la anterior está fuertemente afectada por la presencia de altos contenidos de humedad en los suelos de toda el área de estudio.

En efecto, precipitaciones antes y durante la toma de imagen influyen sobre la textura y tono de los grises, debido al aumento de la constante dieléctrica de los suelos y de los materiales debido a la lluvia, de modo que se afectan las capacidades de absorción, reflexión y transmisión de la energía de microondas.

Se estima que entre el 15 y el 18 de agosto cayeron 128,7 mm de precipitaciones en el área, lo cual se considera una cifra excepcional (observese como aumenta el nivel de agua del embalse en el sureste de la imagen).



**Figura N° 2**

Agosto, Modo F1 (desc.), Análisis de Textura  
TEX = MEAN (5\*5)

De todos modos y tal como se observa en la figura las categorías de uso de la tierra más significativas para el proyecto (cultivos con tonos más oscuros y áreas frutales grises intermedios), se discriminan bastante bien. Es interesante destacar que en general las tonalidades de grises tienden a homogeneizarse, particularmente en las zonas agrícolas, lo cual dificulta el análisis visual.

La imagen de noviembre (Fig. 3) permite diferenciar las categorías de uso del suelo en una forma menos óptima que la anterior, debido a una menor variabilidad de los tonos de grises entre cultivos y frutales.

Sin embargo, a pesar que las texturas de cultivos y frutales tienden a una homogeneidad, los tonos más oscuros permiten diferenciar adecuadamente las zonas agrícolas respecto de aquellas que presentan cultivos.

Durante esta fecha los frutales presentan hojas y frutos, lo cual aumenta la retrodispersión, del mismo modo que los cultivos en general presentan mayor biomasa, incrementando también por su parte la retrodispersión, con lo cual los grises oscuros o negros se reducen en forma significativa, lo que se traduce en una mayor homogeneidad en las texturas.

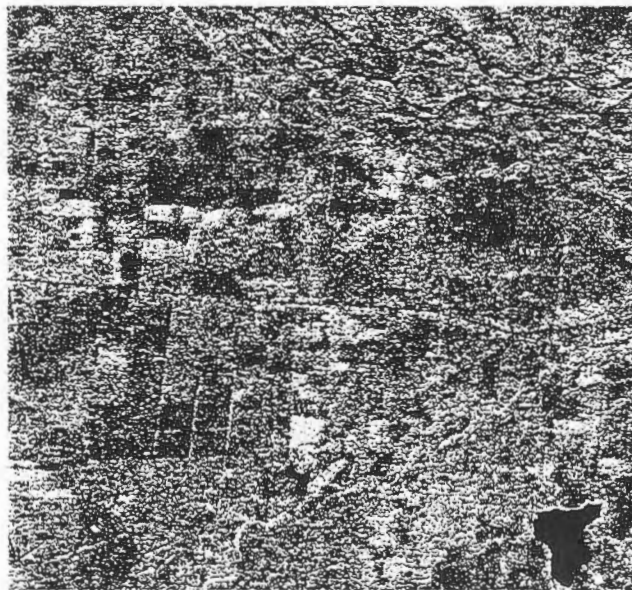


Figura N° 3

Noviembre, Modo F4 (desc.), Análisis de Textura  
TEX = MEAN (5\*5)

Por tratarse de una fecha en la cual no se presentan precipitaciones, y las temperaturas son altas, las necesidades de riego para algunos cultivos son fundamentales. Los tonos brillantes muestran precisamente los cultivos agrícolas bajo riego reciente.

## CLASIFICACIÓN

La clasificación digital supervisada aplicada en esta oportunidad a las imágenes tiene sólo carácter preliminar y se realizó usando el algoritmo MLC (Maximum Likelihood Classifier), algunos de cuyos resultados se observan en las tablas adjuntas.

### RESULTADOS CLASIFICACIÓN SUPERVISADA

FECHA	Average Accuracy %	Overall Accuracy %	Coef. Kappa
MARZO	61.28	55.31	0.363
AGOSTO	61.24	64.67	0.446
NOVIEMBRE	83.99	80.58	0.731

### PARÁMETROS ESTADÍSTICOS PRINCIPALES CATEGORÍAS DE USO

	FRUTAL		CULTIVO		RASTROJO		TRANQUE	
	PROM.	S	PROM.	S	PROM.	S	PROM.	S
MARZO	33.63	3.34	48.20	7.25	15.14	2.42	6.98	1.17
AGOSTO	35.02	9.43	25.00	7.33	-	-	8.25	2.03
NOV.	28.17	7.34	51.10	14.25	-	-	6.01	3.07

Los histogramas resultantes muestran una tendencia a la normalidad, en especial la categoría frutales. La variabilidad de las clases en general es moderada lo cual refleja una cierta homogeneidad al interior de ellas, sin embargo, se observa una mayor desviación estándar en la clase frutal para el mes de agosto.

Lo anterior podría deberse al efecto que introduce la presencia de un alto contenido de humedad en los suelos.

## CONCLUSIONES

La utilización de la tecnología de radar se ha ido incrementando gradualmente en países desarrollados y está teniendo un impacto muy positivo en los países del tercer mundo, al constituirse en una

herramienta que debido a sus características particulares, entre las cuales destaca su resolución espacial, viene a fortalecer la generación de data bajo condiciones naturales y climáticas adversas.

Se ha logrado en este estudio visualizar la potencialidad de las imágenes RADARSAT, en aplicaciones agrícolas, en un área ubicada en latitudes medias, la cual representa ecosistemas de tipo mediterráneo fuertemente antropizados, en consecuencia, con condiciones de iluminación, humedad y cobertura vegetal diferente de las zonas de altas latitudes y tropicales, en las cuales existe una mayor experiencia en la utilización de las imágenes de radar.

Los resultados de la clasificación digital son medianamente satisfactorios presentando un mejor resultado la realizada en la imagen de noviembre. Corresponde por tanto a futuro aplicar una clasificación no supervisada para a partir de ella establecer con mayor seguridad las clases a solicitar posteriormente en una nueva clasificación supervisada.

Desde el punto de vista de la aplicación del análisis textural habría que mencionar que la imagen de marzo es la que muestra con mayor nitidez las diferentes categorías de uso del suelo, de modo que se puede considerar esta fecha, como la más adecuada en relación con la fenología de los cultivos y frutales en estas latitudes.

Sin embargo la utilización de las otras fechas, ha sido esencial para ayudar a identificar y diferenciar los cultivos de invierno y verano, facilitando de ese modo la interpretación visual.

También en relación con la fenología habría que señalar que la fecha de noviembre no parece suficientemente adecuada debido a que las variaciones tonales y/o texturales tienden a un mayor grado de homogeneidad.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**Brown R., Staenz K., McNairn H., Hopp B. and van Acker R.**  
**Application of High Resolution Optical Imagery to Precision Agriculture Procedures GER97, Canadá, Ottawa, 1997.**

**Dixon R., and Brown R.**  
**Meteorological Events Related to the Use of RADARSAT Data for Crop Discrimination**  
**Procedures GER97, Canadá, Ottawa, 1997.**

**Leckie D.**  
**The Effect of Environmental Influencies on RADARSAT Images of Forest Land**  
**Procedures GER97, Canadá, Ottawa, 1997.**

**MIDEPLAN, 1993**  
**Compendio Estadísticas Regionales**  
**Documento/ Regionales**

**Olave D., 1985**  
**Áreas de Degradación de la Vegetación Natural en la VII Región del Maule**  
**Rev. Geográfica Terra Australis, V. 28.**

**Pino, F., 1992**  
**Características Sociogeográficas del trabajador de Huertos Frutales en Chile Central**  
**Memoria Final XIV Congreso Geografía**

**Riffo M., 1992**  
**Informe Final Proyecto FONDECYT 0990-91**  
**Facultad de Arquitectura y Urbanismo**  
**Universidad de Chile**

**Salinas G. , Ibañez G., Kulichevski L., y Maraz J.**  
**Land Use and Land Cover of the Artificial Irrigated Zones Cultivated in the Provinces of San Juan and Mendoza in Argentina**  
**Procedures GER 97, Canadá, Ottawa, 1997.**

**Smith A. and Major D.**  
**Radar Backscatter and Crop Residues**  
**Canadian Journal of Remote Sensing**  
**Volume 22, No 3, September, 1996**

**Touré A.**  
**Relationship Between RADARSAT Fine Mode Data and Wheat Crop Parameters**  
**Procedures GER97, Canadá, Ottawa, 1997.**

## STUDY OF BATHYMETRIC AND OCEANOGRAPHIC FEATURES IN THE SOUTHERN BRAZIL COASTAL ZONE THROUGH RADARSAT IMAGES

Carlos Alberto Eiras Garcia  
Glauber Acunha Gonçalves  
Osmar Olinto Möller Jr.

Laboratório de Oceanografia Física, Depto. Física, Fundação Universidade do Rio Grande (FURG), 96201-900, Rio Grande, RS, Brasil.  
Email: [garcia@calvin.ocfis.furg.br](mailto:garcia@calvin.ocfis.furg.br)

A Radarsat SAR scene that covered part of the coastal area of Rio Grande do Sul state, the southernmost region in Brazil, was interpreted to verify the capabilities of the use of this kind of active remote sensing methodology for hydrographical coastal zone studies. The imaged area is a square with 100X100 km centred around 32°S and 52°W where the estuarine part of Patos Lagoon, one of the largest coastal lagoons of the world, and the adjacent oceanic coastal zone are depicted.

The image type corresponds to a SGF (SAR Georeferenced Fine Resolution), beam mode S2 (the incident angle is 26.63 degrees) with 12.5 m of spatial resolution and four looks. CCRS distributed this image in the CEOS format for Exabyte 8 mm tape data. The PCI software was used to process the image according to the following procedures:

- a) The CEOS Exabyte 8 mm tape data format was converted to PCI Windows NT;
- b) A radiometric correction was applied to solve the antenna pattern distortions;
- c) The integer 16 bits digital number was converted to a real 32 bits radar backscatter coefficient (sigma-nought);
- d) The radar backscatter coefficients were converted to amplitude values (dB);
- e) A gamma filter (7X7) was used to reduce the speckle noise;
- f) Ground control points were used to perform the geometric corrections in order to obtain a georeferenced image;
- g) The 32 bits image was scaled to 8 bits through the histogram stretch algorithm;
- h) Enhancement techniques are applied to allow a good visual inspection of the image;
- i) A series of subset images are then obtained for those regions of special interests.

Visual inspection of the image allowed to identify several features. In the oceanic region the wave pattern was clearly observed but the effect of bottom topography on the backscattering of radar beam and the suspended sediment plume formed near the lagoon entrance were the most noticeable structures. Within the estuarine area the topography of the navigation channel and that of the sandy banks of the shallower areas can be identified. Along the margins shadow zones produced by the effect of the ground acting as a barrier to the wind were identified. The elongated form of these shadows allows to verify the wind direction. The wave pattern can also be seen in the inner parts of the lagoon.

Along the harbour, where fishery and edible oil industries are located, the image presents some dark regions that are probably due to pollution. The areas where the urban sewage is disposed can also be identified.

The existing knowledge of this region, given by navigation charts and by several research works developed at FURG, was the main support our observations by visual inspection of Radarsat image. It is recommended that future research includes the combination of remote sensing with real time field data acquisition.



**CLASIFICACION DE LA COBERTURA DEL HIELO MARINO A  
LA DERIVA EN EL SECTOR NOROESTE DEL MAR DE WEDDELL,  
ANTARTICA, ENERO 1998.  
PROYECTO CHILE - 5**

**Ricardo Jaña<sup>1</sup> Jonny Pieringer<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Instituto Antártico Chileno; Luis Thayer Ojeda 814, Providencia; Santiago, Chile;

E-mail: rjana@inach.cl.

<sup>2</sup>Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada; Errazuriz 232; Valparaíso, Chile;

E-mail: jpieringer@shoa.cl.

**RESUMEN**

Se reportan las características y tipos de hielos marinos a la deriva presentes en el sector noroeste del Mar de Weddell observadas durante la segunda quincena del mes de enero de 1998. La descripción de tales condiciones glaciológicas forma parte de las actividades del proyecto "Clasificación y seguimiento de la dinámica del hielo marino a la deriva utilizando imágenes SAR del Satélite RADARSAT en el océano Austral, Antártica", auspiciado por el Programa GLOBESAR 2. Para tales efectos se programó la adquisición de dos imágenes SAR del satélite canadiense RADARSAT, las cuales fueron analizadas e interpretadas digitalmente. Los resultados obtenidos fueron complementados con observaciones directas registradas durante la navegación realizada por el rompehielos de la Armada de Chile "Almirante Oscar Viel" en el Paso Antarctic, ubicado en el límite norte del campo de hielo, así como también, mediante el uso de información proveniente de cartas de hielo preparadas semanalmente por el US National Ice Center y que se encuentran disponibles en Internet.

**INTRODUCCION**

Bajo el auspicio del Programa GLOBESAR 2, el Instituto Antártico Chileno (INACH) y el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA), desarrollan conjuntamente el proyecto "Clasificación y seguimiento de la dinámica del hielo marino a la deriva utilizando imágenes SAR del Satélite RADARSAT en el océano Austral, Antártica ". Los objetivos de esta investigación son:

- Identificar y clasificar los diferentes tipos de hielo marino a la deriva con la ayuda de imágenes radar del satélite RADARSAT.
- Estudiar la distribución del hielo marino antártico a la deriva a través de su seguimiento mediante el uso de imágenes SAR.
- Identificar las características físicas topográficas del hielo marino a la deriva..
- Formar a expertos en el monitoreo e interpretación del hielo marino antártico a la deriva a través del sensoramiento remoto radar.

Este trabajo tiene por objeto presentar en el Mid-Term Simposium GLOBESAR 2, el estado de avance del Proyecto y se entregan los resultados preliminares alcanzados a la fecha, específicamente aquellos que se refieren a la actividad de terreno realizada y al procesamiento preliminar de las imágenes SAR .

## MARCO TEORICO

La descripción de las condiciones dinámicas y la caracterización de los extensos campos de hielo marino a la deriva - pack ice - que rodean al continente antártico, proporcionan antecedentes claves para los estudios de la dinámica del Cambio Global (Parkinson,1991), a la vez que documentan de buena manera las interacciones entre el océano y la atmósfera en la región.

Durante el estudio se ha observado que tanto la escala espacial y temporal en las que se manifiesta el cíclico fenómeno de congelamiento y derretimiento del agua de mar, implica variaciones en la cobertura areal total del hielo marino, con valores que oscilan entre los  $4 \times 10^6$  km<sup>2</sup> en verano y los  $20 \times 10^6$  km<sup>2</sup> en invierno (Enomoto et al.,1991), así como también, la ocurrencia de rápidos cambios en la posición del borde del hielo producto de las condiciones dinámicas debidas a las corrientes marinas y condiciones meteorológicas que caracterizan al océano Austral.

Por otra parte, el espesor del hielo no es posible medirlo a través de sensores instalados en satélites, pero con el empleo de algoritmos se puede inferir el espesor de parámetros superficiales (Comiso and Zwally, 1984; Gloverson and Cavalieri,1986; Worky et. al. 1996). Sin embargo, hay que tener presente que la respuesta espectral de los elementos dependen de condiciones particulares de cada uno de ellos; es así que la emisividad del hielo, la cubierta de nieve y la humedad de la superficie, entre otros, pueden conducir a ambigüedades en los resultados para definir la concentración y espesor de los hielos (Worky et. al.,1996.)

En este contexto el uso de los datos obtenidos desde satélites son una valiosa fuente de información para el estudio de las variables que intervienen en los procesos señalados y particularmente, aquella proveniente de los satélites con sensores de microondas activos, como es el caso de las imágenes radar del satélite RADARSAT, y cuyo potencial es explorado en términos didácticos en este trabajo.

## MATERIALES Y METODOS

La ejecución de este Proyecto fue estructurada en dos etapas, a objeto de efectuar observaciones de los hielos marinos en épocas y áreas geográficas diferentes. Esto obedece al propósito de tener cubierta las variables - que a nuestro juicio - son las mas significativas en un estudio de los hielos marinos. Nos referimos específicamente a la aspecto climático, estacionalidad y zona geográfica.

Para estos efectos se programó la ejecución de la primera actividad de terreno, realizada en enero de 1998. a bordo del rompehielos de la Armada de Chile "Almirante Oscar Viel", con el propósito de permitir el adiestramiento para el reconocimiento visual de los diferentes tipos de hielos marinos, registrar y determinar la concentración y espesor de los bandejones con métodos estándar, y obtener una verdad de terreno en el momento que se producía la adquisición de las imágenes.

Las imágenes satelitales RADARSAT utilizadas corresponden a una imagen descendente ScanSAR Narrow obtenida el día 17 de enero y a una imagen ascendente ScanSAR Wide obtenida el día 19 de enero, tomadas en el sector norte del Mar de Weddell, Antártica . El software empleado para su procesamiento fue PCI v.6.1, realizándose procedimientos de geocodificación de las imágenes mediante la utilización de las rutinas que la herramienta provee y de acuerdo a los procedimientos standard usados en el Canadá Center Remote Sensing, (CCRS). En tal tarea, se utilizó como referencia espacial la carta Inglesa N°225, escala 1:150.000, edición 1993, usando una proyección Polar Estereográfica para su representación.

Los registros del hielo marino obtenidos a bordo del rompehielos mientras la nave se desplazaba a través del sector comprendido entre el estrecho Bransfield, Paso Antarctic, Canal Príncipe Gustavo y área noroeste del Mar de Weddell, corresponden a registros horarios con la posición geográfica, concentración en décimas, edad y tipo de hielo, espesor, tamaño de los bandejones, características de la superficie del bandejón espesor y tipo de nieve que los cubre, características de las aguas libres de y la obtención de data meteorológica. El método utilizado para registrar el espesor de los bandejones de hielo y la nieve acumulada sobre ellos consistió en utilizar una boya colgando por la banda de estribor de la nave, cuyo diámetro conocido fue utilizado como referencia para determinar el espesor de los bandejones que se fracturaban a

medida que la nave se desplazaba en áreas de mayor concentración y sobre algunos bandejones previamente seleccionados. Estas observaciones se encuentran expresadas en las Tablas 1 y 2.-

Debido a una situación de "emergencia en el mar" que debió atender el rompehielos "Oscar Viel", se produjo un retraso en la llegada al área bajo cobertura satelital, razón por la cual no se contó con condiciones de simultaneidad para la documentación de las verdades de terreno para cada una de las imágenes.

Al mismo tiempo, se ha contado con información adicional proveniente de la carta de hielos preparada semanalmente para el área por el US National Ice Center (NIC) y que se encuentra disponible en Internet <http://www.natice.noaa.gov/>.

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos de las observaciones registradas durante la navegación del sector donde se localizaba el borde de los campos de hielo marino a la deriva, al sur del paso Antartic, indican que el área presentaba la ocurrencia de hielo en una concentración variable de 1/10 a 6/10, correspondiente principalmente a hielo grueso de primer año (180 cm en promedio), escombros de hielo y hielo de varios años con espesores sobre 250 cm.

Para determinar el grosor del hielo la nave, aprovechando su condición de rompehielos, rompió bandejones que fueron seleccionados por su magnitud. El espesor de estos bandejones fue de 220 cm en un pack-ice de 6/10 de concentración como máximo.

La información publicada en las cartas de hielo por el NIC para la fecha del estudio están de acuerdo en el valor de las concentraciones observadas, no así, en el espesor determinado para los bandejones el cual se aprecia subestimado.

Por otra parte el análisis preliminar de las imágenes SAR que cubren un área de 500x500 km. permiten identificar claramente diferentes concentraciones y tipos de hielo marino en función de los valores digitales retrodispersados. Así, diferentes concentraciones de varios tipos de hielo, donde predominan el hielo grueso de primer año, de segundo año y hielo de varios años, son fácilmente identificables en las imágenes.

## CONCLUSIONES

A pesar de los inconvenientes encontrados en el desarrollo de la 1ª Etapa de este proyecto los cuales afectaron principalmente las actividades de terreno hemos concluido al contrastar la escasa información de terreno con las imágenes SAR, las cartas de hielo emitidas por el NIC. que es posible determinar el tipo y distribución del hielo marino presente en el área de estudio.

Hemos comprobado que se hace necesaria una mayor experiencia en el manejo de los softwares diseñados para el análisis de las imágenes y que la verdad de terreno, no disponible para estas imágenes, es un aspecto relevante que permite asegurar una correcta interpretación.

Se plantean como actividades para los próximos meses el trabajo de gabinete para identificar la ocurrencia de fenómenos debidos a las condiciones dinámicas del océano en el sector de estudio y la participación en un segundo crucero, esta vez invernal, a objeto de correlacion datos de terreno con los datos adquiridos por RADARSAT en forma concurrente.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece el auspicio brindado por la Agencia Canadiense para el Desarrollo Iternacional (CIDA) y el Centro Internacional para la Investigación del Desarrollo de Canadá (IDRC), agencias canadienses que permiten la realización de este proyecto, así como el apoyo técnico proporcionado por el CCRS indispensable para nuestro trabajo. Se agradece también el apoyo de nuestras instituciones respectivas, INACH y SHOA,

que han facilitado nuestra participación. De igual modo se reconocen los esfuerzos de la dotación del rompehielos "Almirante Oscar Viel" en el desarrollo de las actividades de terreno.

**Tabla 1. Resumen de observaciones glaciológicas.**

Viernes 23 de enero 1998

17:00	63° 06.1 S	57° 22.1 W	Concentración total de 4/10. 1/10 de hielo de segundo año con 250 cm de espesor y bandejones de menos de 20 metros. 2/10 de hielo de primer año con 180 cm de espesor y bandejones de 20 a 100 metros. 1/10 de escombros de hasta 120 cm de espesor.
18:00	63° 11.6 S	57° 13.3 W	Concentración total de 1/10. 1/10 de hielo de primer año con 200 cm de espesor y bandejones de menos de 20 metros. Menos de 1/10 de escombros de hasta 120 cm de espesor
19:00	63° 21.2 S	56° 45.5 W	Concentración total de 1/10. Menos de 1/10 de hielo de segundo año de hasta 250 cm de espesor y bandejones de 20 a 100 metros. 1/10 de hielo de primer año con 120 cm de espesor y bandejones de 20 a 100 metros. Menos de 1/10 de escombros de hasta 100 cm de espesor
20:00	63° 30.7 S	56° 24.9 W	Concentración total de 1/10. 1/10 de hielo de segundo con 180 cm de espesor y bandejones de 20 a 100 metros. Menos de 1/10 de escombros de hasta 100 cm de espesor
21:00	63° 31.6 S	56° 23.5 W	Nave sobre las máquinas por operación con helicópteros
22:00	63° 33.5 S	56° 21.5 W	Concentración total de 3/10. 2/10 de hielo de primer año con 200 cm de espesor y bandejones de 20 a 100 metros. 1/10 de escombros de hasta 100 cm de espesor.
23:00	63° 38.4 S	56° 28.7 W	Concentración total de 2/10. Menos de 1/10 de hielo de segundo año de hasta 250 cm de espesor y bandejones menores de 20 metros. 2/10 de hielo de primer año de hasta 180 cm de espesor y bandejones de 20 a 100 metros. Menos de 1/10 de escombros de hasta 100 cm de espesor.

Sábado 24 de enero 1998

08:00	063° 40.9 S	56° 50.2 W	Concentración total de 2/10. 1/10 de hielo de segundo año de hasta 250 cm de espesor y bandejes de menos de 20 metros. 1/10 de hielo de primer año de 200 cm de espesor y bandejes de 20 a 100 metros.
09:00	63° 40.5 S	56° 40.6 W	Concentración total de 2/10. menos de 1/10 de hielo de segundo año de hasta 250 cm de espesor y bandejes de menos de 20 metros. 1/10 de hielo de primer año de 120 cm de espesor y bandejes de 20 a 100 metros. 1/10 de escombros de hasta 100 cm de espesor.
10:00	63° 40.0 S	56° 36.0 W	Concentración total de 2/10. 1/10 de hielo de primer año de hasta 150 cm de espesor y bandejes entre 20 y 100 metros. 1/10 de escombros de hasta 90 cm de espesor.
11:00	63° 40.8 S	56° 28.0 W	Concentración total de 2/10. 2/10 de hielo de primer año de hasta 160 cm de espesor y bandejes entre 20 y 100 metros. menos de 1/10 de escombros de hasta 80 cm de espesor.
12:00	63° 38.9 S	56° 22.0 W	Concentración total de 5/10. 2/10 de hielo de primer año de hasta 180 cm de espesor y bandejes entre 20 y 100 metros. 1/10 de hielo de primer año de hasta 120 cm de espesor con bandejes menores de 20 metros. 2/10 de escombros de hasta 80 cm de espesor.
13:00	3° 42.8 S	56° 16.0 W	Concentración total de 6/10. 3/10 de hielo de primer año de hasta 180 cm de espesor y bandejes entre 20 y 100 metros. 2/10 de hielo de primer año de hasta 120 cm de espesor con bandejes entre 20 y 100 metros. 1/10 de escombros de hasta 70 cm de espesor
14:00	14:00 63	56° 19.9 W	Concentración total de 6/10. 2/10 de hielo de segundo año de 200 cm de espesor y bandejes entre 20 y 100 metros. 3/10 de hielo de primer año de hasta 150 cm de espesor con bandejes entre 20 y 100 metros. 1/10 de escombros de hasta 80 cm de espesor.
15:00	63° 41.5 S	56° 20.6 W	Concentración total de 5/10. 2/10 de hielo de segundo año de hasta 250 cm de espesor y bandejes entre 20 y 100 metros. 2/10 de hielo de primer año de hasta 180 cm de espesor con bandejes entre 20 y 100 metros. 1/10 de escombros de hasta 100 cm de espesor.
16:00	63° 38.6 S	56° 25.9 W	Concentración total de 3/10. 2/10 de hielo de primer año de hasta 200 cm de espesor y bandejes entre 20 y 100 metros. 1/10 de hielo de primer año de hasta 120 cm de espesor con bandejes entre 20 y 100 metros. menos de 1/10 de escombros de hasta 100 cm de espesor.

**Tabla 2. Espesores de hielo en bandejones tipos - método boya.**

Medidos el 24 de enero

Hora	Latitud	Longitud	Máximo	Promedio	Mínimo
10:15	63° 40.3 S	56° 36.0 W	250 cm	90 cm	50 cm
13:30	63° 43.3 S	56° 17.5 W	200 cm	80 cm	10 cm
14:00	63° 44.9 S	56° 19.9 W	200 cm	150 cm	90 cm
14:20	63° 44.2 S	56° 20.0 W	180 cm	150 cm	120 cm
15:30	63° 39.0 S	56° 25.3 W	160 cm	90 cm	80 cm





IMAGE RADARSAT-1, 98. JAN-11 (ASCENDING PASS)  
PASC ANTARTIC - ANTARTIC (MAR DE WEDDELL)  
AREA DE INVESTIGACION PROYECTO CHILE-5

# MONITOREO DE HIELO FLOTANTE PARA NAVEGACION ANTARTICA

Manuel H. Picasso<sup>(\*)</sup>, Héctor Salgado<sup>(\*)</sup>, Beatriz Lorenzo<sup>(\*)</sup> y Gorki Jover Alba<sup>(\*)</sup>

## INFORME DE ACTIVIDADES

### RESUMEN

#### 1. Introducción

El hielo flotante es peligro potencial para la navegación marítima en la Antártida de modo que observar su característica, extensión y dinámica es tarea de primordial importancia en los vastos, innavegables e inhóspitos mares antárticos y subantárticos a fin de preservar la seguridad náutica. En estos espacios marinos predominan cielos nublados a lo largo de todo el año y pobres condiciones de luz durante más de siete meses, circunstancias fuertemente limitantes para mantener cualquier rutina aceptable de seguimiento de hielo flotante. Las imágenes de Radar de Abertura Sintética (SAR) a bordo del satélite canadiense RADARSAT ofrecen la oportunidad de superar ambos condicionantes por la capacidad del SAR de atravesar nubes en cualquier condición de luz y, tanto o más importante, porque la banda C del SAR permite discernir características propias del agua en sus tres estados posibles.

#### 2. Imágenes y datos

Se analizaron dos imágenes SAR-RADARSAT cedidas por el Centro Canadiense de Sensores Remotos (CCRS) dentro del marco del programa GlobeSAR 2: una ScanSAR ancha descendente del 24 de enero de 1997 a 01:54:57 UTC y la otra ScanSAR angosta descendente del 23 de enero de 1997 a 04:03:11 UTC. En esos análisis se contó con información complementaria de la misma fecha: (a) observaciones visuales de los campos de hielos flotantes a bordo del Rompehielos A.R.A. "ALMIRANTE IRIZAR" (RHAI); (b) datos meteorológicos del RHAI; (c) imágenes de satélites meteorológicos NOAA y METEOR de baja resolución obtenidas a bordo del RHAI; y (d) imágenes de alta resolución.

#### 3. Area de análisis

La zona de estudio se centró en el extremo sudoriental del Mar de Weddell, en la Antártida, dentro del sector de vértices 79°S/25°W, 78.5°S/45.5°W, 74°S/40.3°W, y 74.3°S/25°W. Aquí la geografía es muy particular, tanto, que las costas ubicadas sólo a la derecha (este) y abajo (sur) de la imagen no ofrecen puntos de referencia adecuados para la georreferenciación por estar enmascaradas debajo de barreras de hielo terrestre y/o de glaciar en movimiento hacia el mar por lo que, en definitiva, no hay puntos que permitan georreferenciar con precisión. La solución a este problema pasa, en principio, con las herramientas a nuestro alcance, por definir el propósito del análisis en función del error de aproximación geográfica. Así, por ejemplo, la evaluación de la extensión de los campos de hielo marino como algunas de sus características de deformación pueden soportar ciertas imprecisiones en el posicionamiento siempre que se la utilice como descripción sinóptica cualitativa del hielo flotante para propósitos meteorológicos y oceanográficos. Por lo contrario, esa misma evaluación sujeta a indeterminación en la posición sería inaplicable en apoyo concreto a la navegación marítima, sin la ayuda de medidas complementarias.

(\*) Servicio Meteorológico de la Armada Argentina  
Edificio Libertad, piso 15-23  
Comodoro Py 2055  
1104 BUENOS AIRES. Argentina

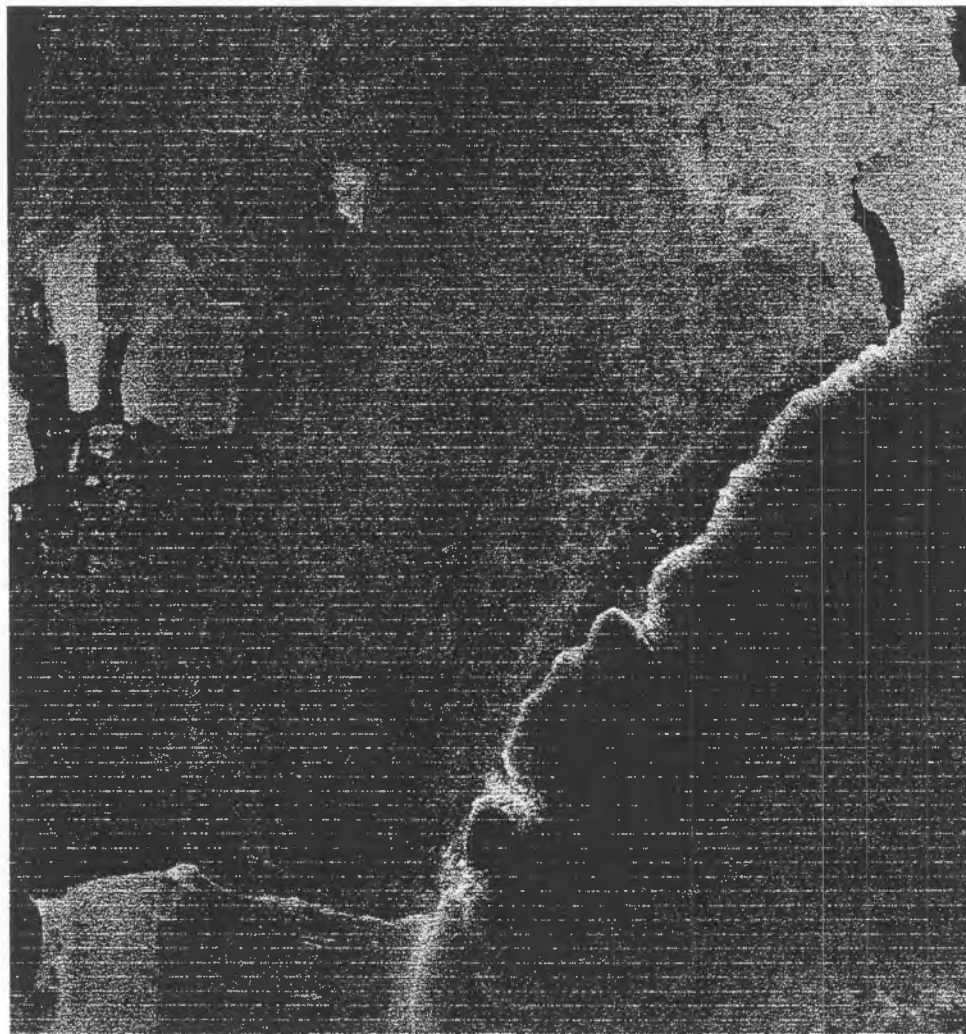
Telefax: +54 1 317 2309  
E.mail: picasso@smara.mil.ar  
salgado@smara.mil.ar  
lorenzo@smara.mil.ar

#### **4. Resultados preliminares**

Ambas imágenes SAR-RADARSAT se leyeron con los programas PCI y EARTHVIEW sin ejecutar calibraciones radiométricas en esta primera etapa, a la espera de adiestramiento futuro por parte del CCRS. Con el EARTHVIEW se trabajó en el filtrado del ruido, aplicándose los filtros 'Frost' y 'Lee' con ventanas de 3x3 y 7x7. La georreferenciación de las imágenes se realizó con el programa IDRISI

La actividad de nuestro Servicio está orientada al apoyo meteorológico, del estado del mar y glaciológico operativo a las unidades de la Armada Argentina, razón por la cual el análisis de las imágenes SAR se focalizó en la identificación de témpanos y su deriva y en la interpretación de rasgos de hielo marino como su borde y extensión, concentración, etapas de desarrollo y deformación como zonas de debilidad y de presión (Fig.1).

N



*Fig. 1 : Imagen ScanSAR del 24 de enero de 1997*

Con poco procesamiento previo de imagen y con campos de hielo marino que ocupaban toda la imagen, en ambos casos, pudieron apreciarse nítidamente la extensión de hielo marino; las aberturas de agua: las zonas con marcados efectos de presión, en particular, los cordones; los témpanos; la áreas con hielo fijo; y las barreras de hielo como línea de costa con sus glaciares bien marcados. En este sentido amplio cabe destacar la gran utilidad de ambas imágenes SAR RADARSAT para poder diferenciar zonas de debilidad en el hielo marino (aberturas, fracturas,



etc.) de campos de hielo marino sometidos a efectos de presión difíciles o imposibles de penetrar por rompehielos. Esto último fue particularmente evidente con las imágenes SAR-RADARSAT facilitadas por el National Ice Center, U.S.A., con autorización del CCRS, coincidentes con las imágenes del presente trabajo también cedidas por el CCRS, en oportunidad de condiciones extremas de navegación en hielo durante la 2da. etapa 1997 del RHAI en el Mar de Weddell. En esta ocasión pudo ofrecerse apoyo operativo al rompehielos, marcándole ambas zonas, de debilidad y presión, y un rumbo posible, cuya posición real debía encontrarla el mismo rompehielos a través de vuelos glaciológicos desde helicóptero, pero que una vez determinado el origen de la derrota, fue fácil deducir el resto de la ruta aproximada que se sugirió.

También pudo observarse que la señal de hielo fijo, confundido inicialmente como hielo nuevo o joven en las imágenes SAR, fue realmente subestimada ya que se trataba de hielo fijo medio de primer año de entre 70 cm y 100 cm de espesor. Para ello fueron muy valiosas las observaciones glaciológicas a bordo del RHAI y de los helicópteros de ese mismo rompehielos. En las zonas de presión pudieron observarse rasgos propios de cordones, pero al momento ha sido difícil distinguir entre el hielo viejo de más de 200 cm de espesor y el hielo de primer año de 30 cm a 200 cm, que coexistieron en toda el área de navegación del RHAI. Los cordones pudieron identificarse según patrones distintos de la acostumbrada orientación paralela entre ellos y, al mismo tiempo, normal al efecto de presión que los origina. En cambio se apreciaron disposiciones predominantemente radiales en todo el extremo sudeste de la imagen, en el hielo marino encerrado entre la lengua de témpanos proyectada hacia el norte desde la barrera Filchner, por el oeste; esta misma barrera por el sur; y la Tierra de Coats por el este. También fue visible un rasgo muy similar a un cordón extendido casi de sur a norte entre el hielo marino y la lengua de témpanos. Todo esto conduce a esbozar una primera explicación coherente sobre el movimiento de toda esa masa de hielo marino atrapada al sudeste del mar de Weddell: era la evidencia de que el campo de hielo marino atrapado en su conjunto, y privado de la acción de las corrientes marinas superficiales por el obstáculo natural de la lengua de témpanos, giraba como un cuerpo sólido generando cordones que se disponían radialmente y, al mismo tiempo, clara línea de interfase de deformación entre él y la lengua de témpanos. Esta última explicación, aunque necesitada de más elementos contundentes de prueba para convalidarla y siendo materia propia de especulación teórica, sería la única que responde a las evidencias analizadas y a las observaciones "in situ".

## **5. Conclusiones preliminares**

Las imágenes SAR-RADARSAT permiten justipreciar, aún con poco pre-procesamiento, zonas de debilidad de hielo marino y áreas de deformación de hielo marino por efectos de presión, facilitando la identificación de rutas navegables por rompehielos con grado aceptable de aproximación y utilidad para una operación náutica, constituyéndose en herramienta valiosísima para los servicios de apoyo a la navegación y para la seguridad náutica. Por otra parte, la interpretación de estas imágenes requieren de la ayuda de datos de campo o de otras imágenes como las de satélites meteorológicos para complementar y ajustar el análisis final.

## **6. Agradecimientos**

Al Centro Canadiense de Sensores Remotos por habernos facilitado las imágenes y por el apoyo técnico y de recursos recibidos; a la Comisión Nacional de Actividades Espaciales de Argentina por permitirnos participar en este programa y por su aliento constante a perseverar en la investigación y actividad satelital; y a nuestros superiores por autorizarnos la presente línea de trabajo y brindarnos los medios necesarios.

# Relationship Between RADARSAT Backscattering Coefficients and Biophysical Properties of Three Types of Pastures from the Brazilian Cerrados Region

E.E. Sano, E.D. Assad, H.S. Bezerra, L. Feitosa  
Brazilian Agricultural Research Organization - EMBRAPA  
Center for Agricultural Research of Cerrados - CPAC  
BR-020 Km 18 Cx. Postal 08223  
73301-970 Planaltina, DF Brazil  
tel. +55-61-389-1171 fax.+55-61-389-2953  
E-mail: sano@cpac.embrapa.br

## ABSTRACT

This report shows a preliminary analysis of the relationship between RADARSAT synthetic aperture radar (SAR) data and biophysical properties of the three most frequent types of pastures in the Goiás State, Brazil (Cerrados ecosystem): *Andropogon guyanensis*, *Brachiaria decumbens*, and *Paspalum lineari Trinins*. The concept of this study is to analyze the feasibility of the C-band RADARSAT data for systematic mapping of these three types of pastures, at a regional scale (1:100.000). The study area is located in the Vão do Paranã Valley, northeastern Goiás State, Brazil. Two SAR images from a wet and a dry season overpasses are scheduled to be investigated. The wet season SAR scene was already acquired in February 17, 1998 (Day of Year - DOY 48), at an ascending, S5A mode (incidence angle from 36 to 42 degrees). The dry season scene will be acquired in May, 1998, with the same sensor configuration of rainy season overpass. Samples for soil moisture content were obtained from 21 sites located near the city of Flores de Goiás in the DOY 48. Vegetation samples for total biomass, as well as leaf area index measurements were also obtained in the day after the wet season satellite overpass. This field campaign will be repeated for the dry season overpass. The field data will be compared with the SAR backscattering coefficients in order to analyze the potential of the C-band RADARSAT backscattering process to discriminate different types of pastures in the Brazilian Cerrados region.

## Introduction

The use of optical remote sensing to monitor pastures in the Brazilian Cerrados region is difficult because of the six-month rainy season (approximately from October to March), restricting the data acquisition in such time period of year. Active microwave data can overcome this limitation since their relatively long wavelengths (magnitude of centimeter) can penetrate clouds. Synthetic aperture radar (SAR) data provide a potentially attractive tool for this type of monitoring (Major et al., 1994), because of the direct relation between total biomass, plant water content, leaf area index (LAI), and radar backscatter. However, the relationship can be affected by the soil moisture and surface roughness effects in the radar backscattering process, as well as by an unappropriated sensor configuration (i.e., non-favorable combination of wavelength, incidence angle and polarization). Particularly for grasslands, the analysis of radar backscattered signals can sometimes be difficult because of the presence of significant underlying dead materials, if the grass remains uncut (Chauhan et al., 1992).

This study is part of the GlobeSAR-2 program (Brisco et al., 1997) and presents preliminary analysis of the relationship between C-band RADARSAT backscattering coefficients from a wet and a dry season overpasses and some biophysical parameters from three types of pastures found in the Goiás State (Cerrados biome). No relevant results or conclusions are presented in this report because the SAR images are not completely acquired or processed yet. The wet season field data analysis, the methodological approach and the expected results are highlighted instead.

## Materials and Methods

### Site Description

The study area was the Vão do Paranã Valley, northeastern Goiás State (latitude 14°27' S and longitude 47°03' W, Figure 1). The valley is one of the last agricultural frontiers of the state, which economy is strongly based on agricultural production. For instance, the annual production of rice is approximately 1.000.000 tons, bringing about 45 million dollars in revenues to the State each year (Assad et al., 1993). Therefore, any attempt towards monitoring the land use in this region is of great value. The interpretation of Landsat/Thematic Mapper images obtained in 1993 has shown that the predominant land use is pasture. The following are the most common types of pastures found in the study area: *Andropogon guyanensis* (cultivated), *Brachiaria decumbens* (cultivated), and *Paspalum lineari Trinins* (native).

### RADARSAT images

This study is planned to analyse two RADARSAT images from a wet and a dry season, respectively. The rainy season scene was already acquired on February 17, 1998 (Day of Year - DOY 48). The dry season scene is scheduled to be obtained in May, 1998. Both images will be acquired at ascending, S5A mode (incidence angle from 36 to 42 degrees), and pixel spacing of 12.5 m x 12.5 m. Radar backscattering coefficients will be extracted from the original 16-bit, unsigned, and calibrated data, as follow: a) obtaining of 32-bit amplitude image through the combination of the original digital values with the lookup table available in the PCI image processing software; b) geometric correction of the amplitude image; and c) calculation of the average amplitude and its standard deviation of each site, using at least 100 pixels to obtain the backscatter coefficient of the site (unit: dB).

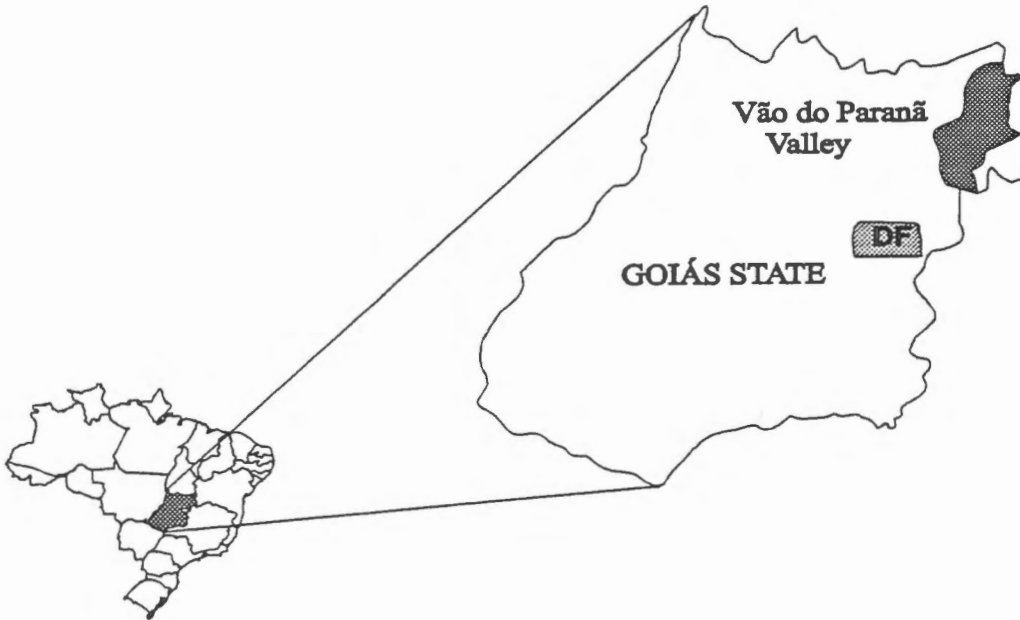


Fig. 1: Location of the Vão do Paranã Valley in the Goiás State, Brazil.



### Field Measurements

Soil samples for gravimetric moisture measurements within the top 2 cm was collected in the same day of the wet season satellite overpass from a set of 21 sites: six sites with *A. guyanensis*, without weeds; four sites with *A. guyanensis* and weeds; four sites with *B. decumbens*, without weeds; five sites with *P. lineare Trinins*, without weeds; and two sites with *P. lineare Trinins* and weeds. For each site, measurements from 12 randomly distributed replicates was averaged to one soil moisture reading. Dry bulk density data was also gathered for each sampling point (three replicates) by the excavation method (Blake and Hartge, 1986), to allow the calculation of volumetric soil moisture contents. Regarding the biological parameters, vegetation samples for total biomass was collected in the day following the satellite overpass, by clipping, collecting, and oven-drying (at 60°C for 60 hours) all vegetation and litter within an area of 1 m x 0.8 m (three replicates) randomly selected in each site. The leaf area index measurements (10 replicates) was also obtained for each sampling site, using a LAI-2000 Plant Canopy Analyzer (Welles, 1990; Welles and Norman, 1991). These field campaign will be repeated for the dry season satellite overpass (with the exception of the bulk density data, which will be assumed to be constant within the two satellite overpasses).

### Expected Results

Table 1 presents a summary of the wet season total biomass, LAI and volumetric soil moisture measurements for the three selected classes of pasture (*Andropogon*, *Brachiaria*, and *Paspalum*). In terms of vegetation density, the *Brachiaria decumbens* presented the highest amounts of total biomass and LAI values, while the *Paspalum lineares Trinins* presented the lowest amounts of total biomass and LAI values. The *Andropogon guyanensis* presented intermediate values. Considering the differences in vegetation density in the study area and the results reported by Ulaby et al. (1984) and Sano et al. (1997), who found a multitemporal correlation between LAI and radar signal, we can, a priori, expect a good capability of the RADARSAT data to discriminate the three types of pastures above mentioned.

However, the soil moisture data were also high. In fact, the soil surface (0-2 cm depth) was nearly saturated because of the moderate to intensive rainfall occurred for several hours right before or during the satellite overpass. The influence of soil moisture in the radar backscattering process is already well-known (e.g., Dubois et al., 1995; Engman and Chauhan, 1995). Thus, after the analysis of the relationship between SAR data and LAI/biomass measurements, we can conclude if it is possible to map pastures from a very wet condition, such as that found in DOY 48, 1998 in the Vão do Paranã Valley. The authors would expect that, taking into account that the soil surface will be drier and the vegetation cover will be still green, the early dry season SAR overpass will allow a better discrimination of different classes of pastures found in Brazilian Cerrados region. However, as pointed out by Major et al. (1994), C-band radar backscatter is also dependent on the site management activities such as reseeding or grazing.

**Table 1:** Wet season vegetation and gravimetric soil moisture measurements from the Vão do Paranã Valley (DOYs 48 and 49, 1998).

Type of Pasture	Presence of Weeds	Total Biomass (g/m <sup>2</sup> )	LAI	Soil Moisture (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )
<i>A. guyanensis</i>	no	430	1.80	28.81
	yes	463	2.90	31.09
<i>B. decumbens</i>	no	982	3.09	36.01
<i>P. lineares Trinins</i>	no	316	1.67	33.60
	yes	274	2.12	29.91

### References

- Assad, E.D.; Sano, E.E.; Bezerra, H.S.; Silva, S.C.; and Lobato, E.J.V. (1993). The use of digital elevation models in the spatial analysis of rice planting dates. In: *Geographical Information Systems. Applications in Agriculture* (Assad, E.D. & Sano, E.E., eds.). EMBRAPA, Brasília, DF, 1993, Chap. 10, pp. 231-248 (in Portuguese).

- Blake, G.R., and Hartge, K.H. (1986). Bulk density. In: *Methods of Soil Analysis. Part I - Physical and Mineralogical Methods* (Kute, A., ed.). ASA/SSA, Madison, WN, 1986, Chap. 13, pp. 363-375, 2<sup>nd</sup> ed.
- Brisco, B.; Manore, M.J.; Brown, R.J.; D'Iorio, M.A.; and Campbell, F.H.A. (1997). *GlobeSAR-2 program and RADARSAT applications review*. GER'97, May 25-30, 1997, Ottawa, Canada (CD-ROM version).
- Chauhan, N.; O'Neill, P.; Le Vine, D.; Lang, R.; & Khadr, N. (1992). L-band radar scattering from grass. In: *Proceedings of IGARSS'92*, vol. II, Houston, TX, May 26-29, 1992, pp. 1755-1757.
- Dubois, P.C.; van Zyl, J.; and Engman, T. (1995). Measuring soil moisture with imaging radars. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 33, n. 4, pp. 915-926.
- Engman, E.T., and Chauhan, N. (1995). Status of microwave soil moisture measurements with remote sensing. *Remote Sens. Environ.*, vol. 51, pp. 189-198.
- Major, D.J.; Smith, A.M.; Hill, M.J.; Willms, W.D.; Brisco, B.; Brown, R.J. (1994). Radar backscatter and visible infrared reflectance from short-grass prairie. *Canadian J. Remote Sens.*, vol. 20, n. 1, pp. 71-77.
- Sano, E.E. (1997). *Sensitivity analysis of C- and Ku-band synthetic aperture radar data to soil moisture content in a semiarid region*. University of Arizona, Tucson, AZ, 122 pp. (Ph.D. dissertation).
- Ulaby, F.T.; Allen, C.T.; and Eger III, G. (1984). Relating the microwave backscattering coefficient to leaf area index. *Remote Sens. Environ.*, vol. 14, pp. 113-133.
- Welles, J.M. (1990). Some indirect methods of estimating canopy structure. *Remote Sens. Reviews*, vol. 5, n. 1, pp. 31-43.
- Welles, J.M., and Norman, J.M. (1991). Instrument for indirect measurement of canopy structure. *Agronomy Journal*, vol. 83, n. 5, pp. 818-825.

# **Aplicaciones de Imágenes RADARSAT en la Evaluación de Praderas en la Región de Magallanes - Chile**

## **Proyecto Chile-2**

**Carlos Pattillo(1), María Elena Pezoa(1) y María Iliá Cardenas(2)**

(1)Centro de Percepción Remota y SIG  
Pontificia Universidad Católica de Chile  
Casilla 306 Santiago 22 Chile  
E-Mail: cpattillo@sas.puc.cl

(2)Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN)  
CORFO

### **RESUMEN**

Se muestran los resultados de la primera etapa de la investigación sobre el valor agregado que tienen las imágenes Radarsat en la evaluación de praderas, correspondiente al procesamiento de imágenes y la generación de productos especiales a utilizar en la segunda etapa de interpretación y obtención de la cartografía final.

Se propone una metodología de procesamiento de imágenes que incluye la generación del modelo digital de elevación (MDE) a partir de estéreo pares de Radarsat, corrección radiométrica con corrección de ángulo incidencia local, fusión de imágenes Radarsat con Landsat-TM, generación de imágenes de cambio, combinaciones multitemporales y clasificación digital no supervisada de una imagen que incluye las bandas originales y textura por varianza.

### **Introducción**

El 90,2% de la masa ganadera del país depende del estado de las praderas nativas para su alimentación. En la Región de Magallanes, un 26,64% de su superficie, es decir 3.682.223 ha, se dedican a ganadería extensiva, concentrándose en esta región el 49% de la masa ovina nacional.

Estas cifras indican lo importante que es la evaluación de la calidad de las praderas, las cuales por años han sufrido por años los efectos negativos del sobrepastoreo y de la práctica de habilitación de superficie para praderas mediante la eliminación de bosques con formaciones de Ñirre y matorrales. Esto, unido a las condiciones climáticas adversas, ha tenido como efecto el aceleramiento de procesos de erosión del suelo, dando como resultado una pradera degradada con una menor capacidad de carga animal.

Se han realizado intentos de evaluar la condición de las praderas y cuantificar su capacidad de carga mediante técnicas de percepción remota espacial (SPOT, LANDSAT) con resultados promisorios pero con el inconveniente que implica la adquisición de imágenes de estos satélites en una zona donde la cobertura de nubes siempre es alta.

Por esta razón, el uso de sensores que trabajan en el sector del espectro electromagnético correspondiente a las microondas (radar), resulta de gran interés y puede ser un aporte adicional en la determinación de zonas altamente erosionadas.

## Objetivos

El objetivo general del presente proyecto es investigar la utilidad de las imágenes obtenidas con el radar de apertura sintética (SAR), a bordo del satélite canadiense RADARSAT, en la evaluación del estado de las praderas magallánicas y definir la metodología de procesamiento digital más adecuada en la consecución de este fin.

Como objetivos específicos se han planteado :

### 1.- Primera Etapa

- a) La calibración de imágenes utilizando el ángulo de incidencia local.
- b) La generación de imágenes orto-georreferenciadas.
- c) La fusión de datos de Radarsat con imágenes Landsat-TM.

### 2.- Segunda Etapa

- a) La interpretación de los productos obtenidos y la generación de cartografía temática sobre la dinámica de cambios en las praderas magallánicas.

## Materiales

En la realización del proyecto se utilizó el siguiente material :

- 1) Imágenes Radarsat :
  - a) Modo estandar S5, 22 feb. 1997 ; b) Modo fino F 1, 28 feb. 1997 ;
  - c) Modo estandar S2, 12 ago. 1997 ; d) Modo estandar S5, 7 dic. 1997
- 2) Imágenes Landsat y SPOT :
  - a) Mosaico Digital Landsat y SPOT 1986
  - b) Imagen SPOT 1996
- 3) Cartografía Digital IGM, escala 1 : 50.000
  - a) Red hidrográfica
  - b) Red de caminos
  - c) Curvas de nivel cada 50 metros
- 4) Información adicional y de terreno
  - a) Cartografía vegetacional INIA, 1987
  - b) Resultados proyecto Fondecyt 1951012, Aplicación de Teledetección y SIG en la Evaluación de los Recursos Praterales en la Región de Magallanes. CPR&SIG 1997.
  - c) Control de terreno Feb. 1997
  - d) Modelos Digital de Elevación, escala 1 : 50.000

## Area de Estudio

El área de estudio seleccionada (Fig. 1), corresponde al sector económicamente más activo de las praderas naturales de la zona austral de Chile, XII Región de Magallanes y Antártica Chilena y se localiza al norte de la ciudad de Punta Arenas, entre los paralelos 52°10' S y 53°00' S y los meridianos 70°10' W y 71°20' W.

En esta zona, el viento es el agente principal de la erosión, actuando sobre suelos de origen glacial con escasa cobertura vegetal. Por el clima imperante, de temperaturas bajas y poca precipitación, la vegetación tiene un crecimiento lento y no alcanza alturas importantes. Esto hace también que sea un ecosistema frágil, altamente afectado por el sobrepastoreo. La vegetación dominante es el Coirón, la murtilla y el junquillo.

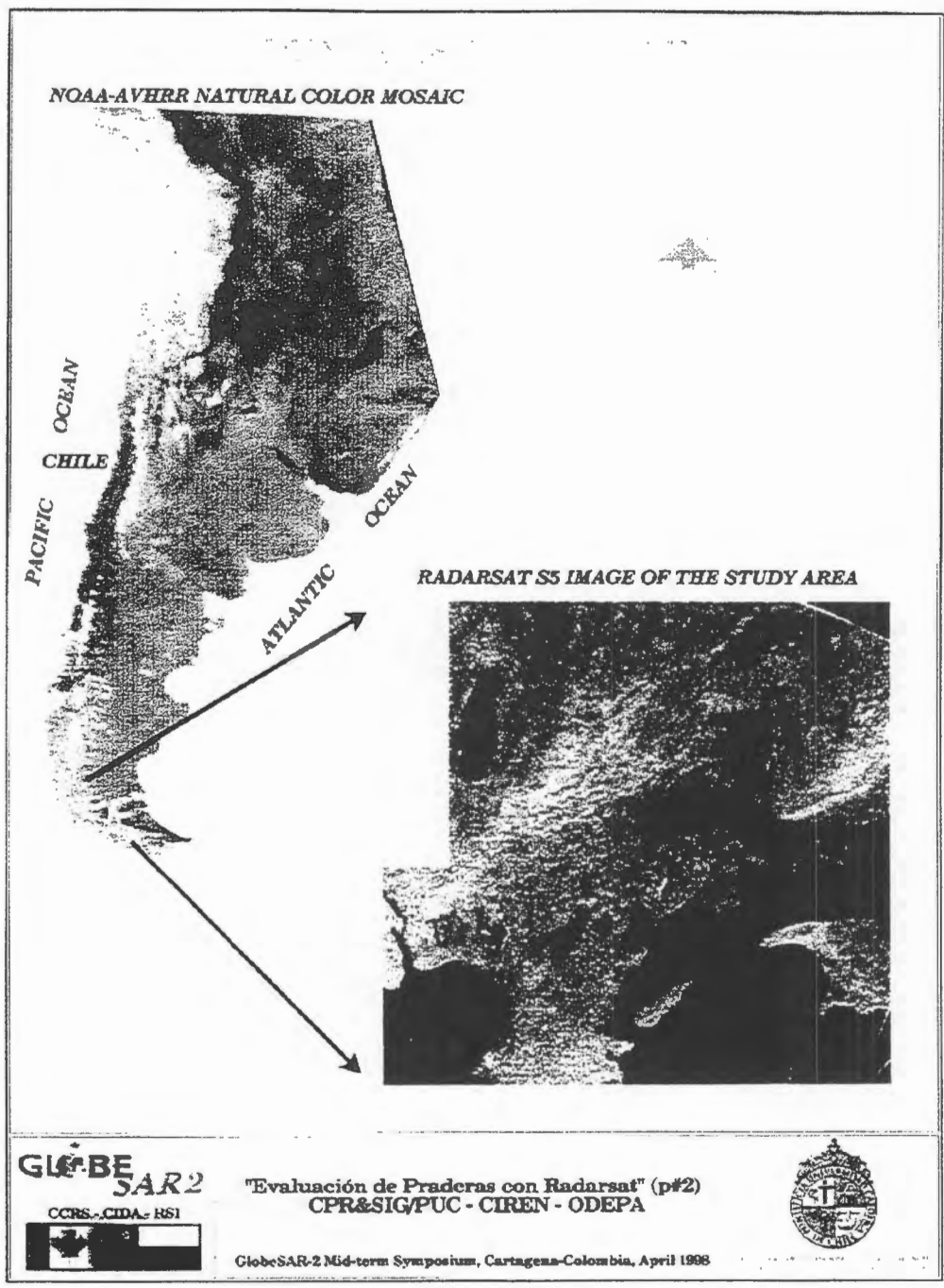


Figura 1 : Area de Estudio.

## Metodología

La metodología utilizada en el estudio se resume en el diagrama de flujos de la figura 2 siguiente:

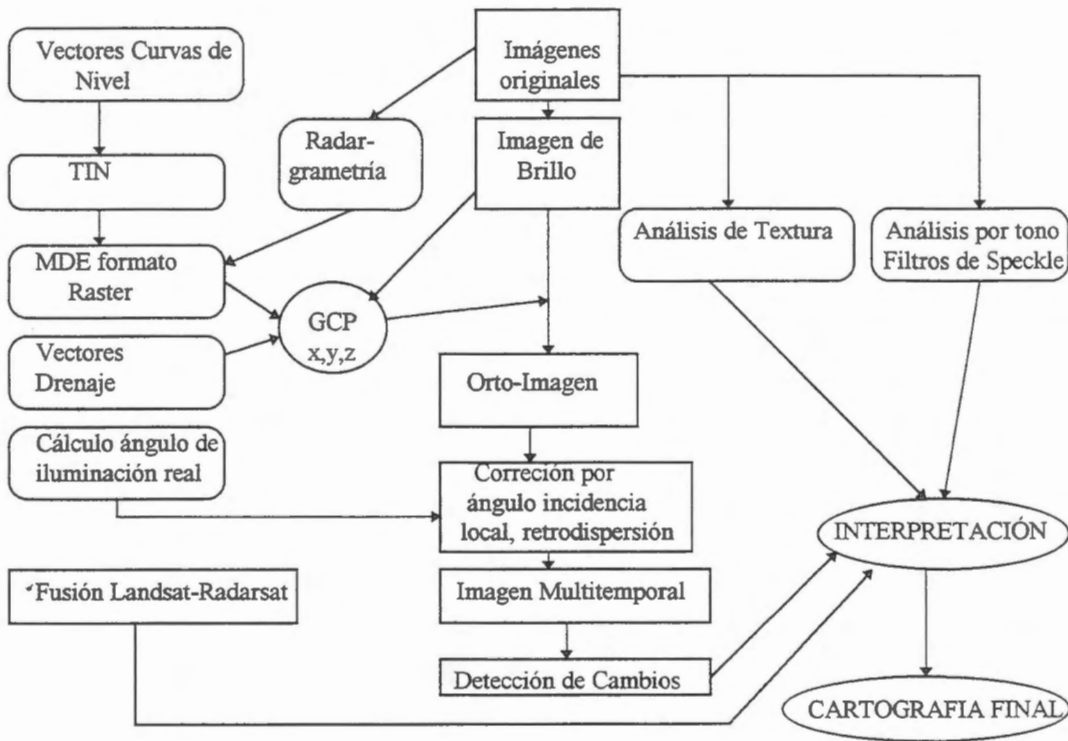


Figura 2 : Diagrama Metodológico

El procesamiento inicial comenzó con la lectura de los archivos originales y la generación del Modelo Digital de Elevación (MDE) mediante técnicas de fotogrametría digital. Para esto se formó un par estereoscópico con las imágenes modos "Standard 2" de agosto y "Standard 5" de febrero. Los pasos seguidos fueron los siguientes :

- toma de puntos de control estereoscópicos
- proyección epipolar de la imagen de febrero
- generación de modelo con alturas relativas por correlación de imágenes
- georreferencia y cálculo de alturas definitivas
- ajuste final de las alturas del modelo

La creación de un MDE con este método exige que se cumplan una serie de condiciones geométricas y radiométricas. En este caso, dado que las imágenes no fueron adquiridas pensando en la generación automática del MDE, se tuvo ambos factores en contra : una geometría con una base muy pequeña y una radiometría poco correlacionada en varios sectores de las imágenes, producto de las condiciones climáticas diferentes ( humedad, viento) entre fechas.

Por esta razón, el resultado obtenido sólo es bueno en parte del área de estudio y no se pudo utilizar en el resto del trabajo. Sin embargo la experiencia fue válida y es nuestra opinión que este método, con estéreo pares adecuados, entrega resultados muy superiores a los métodos tradicionales de generación de un MDE a partir de curvas de nivel.



Utilizando el mismo set de puntos de control se procedió a la georreferencia de las imágenes, utilizando para ello el método con el comando SORTHO del software PCI. Las imágenes que se utilizaron en esta etapa, primero fueron transformadas a imágenes de brillo en decibeles (db).

La calibración radiométrica de las imágenes y generación de la imagen de retrodispersión o  $\sigma^0$ , se realizó utilizando el producto orto-georreferenciado y el cálculo del ángulo de incidencia local, basado en el desarrollo realizado por B. Guidon y M. Adair (1). Los pasos realizados fueron los siguientes :

- Cálculo del ángulo de iluminación real, considerando las alturas del terreno.
- Cálculo del ángulo de incidencia local, considerando la altura, pendiente y exposición del terreno
- Calculo de la imagen  $\sigma^0$  en función de la imagen de brillo y del ángulo de incidencia local.

El primer paso requiere transformar las coordenadas UTM (E,N) al sistema de coordenadas utilizado por el SAR al momento de tomar la imagen. Este es un sistema de pares ordenados de azimuth y distancia en tierra (Az, Gr). Se requiere tomar un punto de referencia, con coordenadas  $E_r, N_r$  lo más próximo posible a la órbita del satélite y calcular a partir de éste la distancia al nadir del paso ( $D_n$ ).

La figura 3 muestra la geometría de toma de una imagen y se usará de referencia para la simbología utilizada en la ecuaciones.

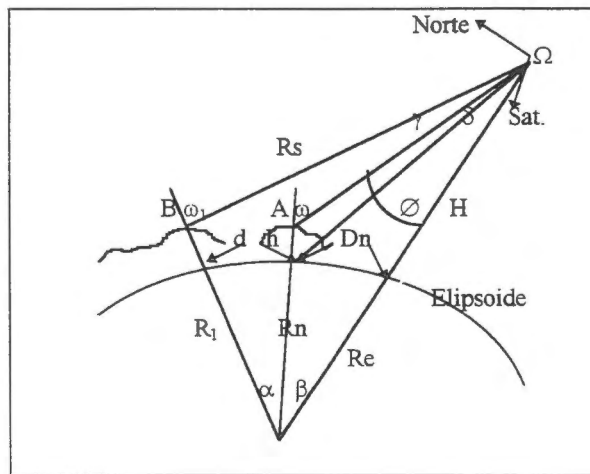


Figura 3 : Geometría de visión

El ángulo  $\delta$ , es el ángulo de iluminación nominal con el cual se calcula el ángulo de incidencia como si la Tierra fuese plana, es decir la altura del punto  $A$  es cero. Debido a la presencia de la topografía ( $h$ ), el ángulo de iluminación real es  $\omega$  y produce un ángulo de incidencia real  $\omega$ .

La relación entre el sistema UTM y el sistema de coordenadas referidas al paso del satélite ( Az, Gr), relativas al punto  $A$  son :

$$Az = (E_n - E_1) \sin \Omega - (N_n - N_1) \cos \Omega \text{ y } d = R_n(\alpha), \text{ luego } Gr = d + D_n$$

A cada posición (Az,Gr) le corresponde un ángulo de iluminación real a partir del cual se calcula el ángulo  $(\beta + \alpha)$  y  $\omega$ , con las siguientes ecuaciones :

$$\beta = \pi/2 - \delta - \cos^{-1}(((Re+H)/Re)\sin\delta)$$

$$Rs = \text{SQRT}(R_i^2 + (Re+H)^2 - 2R_i(Re+H)\cos(\alpha+\beta))$$

$$\omega = \text{sen}^{-1}(((Re+H)/Rs)\text{sen}(\alpha+\beta))$$

Finalmente, para un terreno con una pendiente en grados de "i" y una exposición de laderas o aspecto, también en grados, "a", el ángulo de incidencia local queda dado por la relación :

$$A_{\text{incd}} = \cos^{-1}[\{-\cos(90-\tan^{-1}((\sin(90-a-\Omega)\tan i))(-\text{sen}(\omega)) + \{\text{sen}(90-\tan^{-1}((\sin(90-a-\Omega)\tan i))\cos(\omega))]$$

La imagen  $\sigma^0$  final esta en db y se puede llevar a intensidad o amplitud si se desea. En nuestro caso, continuamos trabajando en db y para efectos de impresión, se convirtieron a 8 bit mediante una relación común para todas :

$$\sigma^0(8b) = \{((db+55)-33)/(64-33)\} * 255$$

La formula anterior equivale llevar los db entre +9 y -22 a valores entre 0 y 255 con un delta de 0.123 db por cada cuenta digital.

## Resultados

Los resultados de la primera etapa del proyecto, procesamiento digital de imágenes Radarsat, generó los siguientes productos de apoyo a la interpretación :

- a) Imágenes orto-georreferenciadas y corregidas radiométricamente, para las tres fechas con modo standard ( Fig. 4a,4b,4c) y 1 fecha en modo fino (Fig. 4d).
- b) Imagen multitemporal en falso color con diciembre en rojo, agosto en verde y febrero en azul .
- c) Imágenes de cambios entre febrero y agosto, entre agosto y diciembre y entre febrero y diciembre.
- d) Imágenes de textura por varianza, media, disimilaridad y entropía.
- e) Clasificación digital no supervisada multicanal.
- f) Imagen combinada Landsat-TM con Radarsat S5 de febrero 1997.

En la etapa siguiente de interpretación, se evaluará cada uno de los productos en cuanto a su aporte a la generación de nueva y mejor información, contrastándose la interpretación con la realidad del terreno.



Fig. 4a

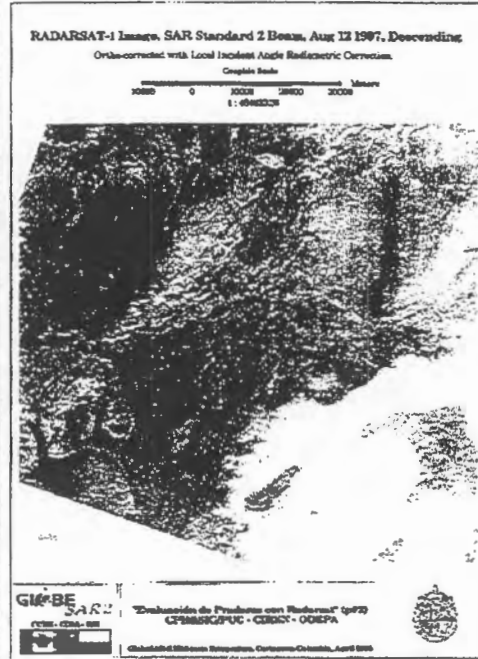


Fig. 4b



Fig. 4c

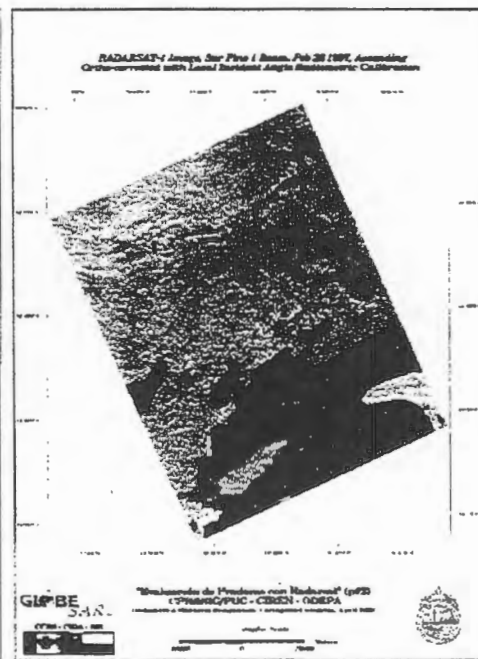


Fig. 4d

## Conclusiones

La generación de MDE a partir de pares estereoscópicos de Radarsat es una técnica que resulta extremadamente útil y se debería utilizar en reemplazo de los MDE generados a partir de curvas de nivel.

En relación a la información contenida en las imágenes, se visualiza que las fechas de febrero y diciembre, que corresponden a épocas secas ( verano) en el área de estudio, por su ángulo inclinado (S5) serán de gran utilidad en la determinación del parámetro rugosidad. En cambio agosto, invierno en la zona, por su vista más vertical (S2), realza más el parámetro de humedad, en un momento que se sabe que es alta. Para estudios de erosión, que está muy relacionado con la rugosidad, se debería haber usado el modo S7 y los estéreo pares con S1 y S7 descendentes o S5 ascendente y descendente, considerando que la zona es plana a lomajes suaves.

Lamentablemente, por la falta de conocimiento y experiencia en el procesamiento de imágenes Radarsat al iniciar el proyecto, se seleccionaron ángulos de iluminación poco adecuados para las fechas y objetivos planteados. Sin embargo la experiencia adquirida durante el desarrollo del proyecto, permitirá corregir estos problemas en la realización de aplicaciones operacionales futuras.

## Bibliografía.

- 1.- Guidon B., Adair A. 1992. *Analytic Formulation of Spaceborne SAR Image Geocoding and "Value-Added" Products Generation Procedures Using Digital Elevation Data. Canadian Journal of Remote Sensing, Vol 18, N°1, January 1992.*
- 2.- ERDAS IMAGINE, *Field Guide, V8.3, 1997.*
- 3.- PCI, *User Guide, V6.2 1998*
- 4.- Major D.J., Smith A.M., Hill M.J., Willms W.D., Brisco B., Brown R.J. *Radar Backscatter and Visible Infrared Reflectance From Short-Grass Prairie. Canadian Journal of Remote Sensing. Vol 20, N°1, January 1994*
- 5.- Martin R., Asrar G., Kanemasu E. *C-Band Scatterometer Measurements of Tallgrass Prairie. Remote Sensing of the Environment, 1989.*

**IMAGENES DE RADAR :su utilización en la identificación  
de paisajes en la Cuenca de Santa Maria\*\*  
(Catamarca, Argentina)**

Navone, Stella Maris \* Palacin, Esteban \* (Ex-aequo)

Movia, Clara ;Maggi,Alejandro y Rienzi, Eduardo

♦ RESUMEN

El deterioro ambiental por las actividades humanas no es un fenómeno reciente sin embargo la magnitud de la transformación actual del ambiente no tiene precedentes. Es importante diagnosticar precozmente el problema .En algunas regiones por la poca accesibilidad esta tarea no es sencilla Una de ellas es la que se ha elegido para este trabajo: la cuenca del rio Santa Maria en la provincia de Catamarca (Argentina) .

El objetivo de este estudio es determinar la utilidad de la imagen radar original y procesada para cartografiar unidades de paisajes que permitan el diagnóstico del estado de deterioro de las tierras

El piso del Valle se encuentra entre (1000 y 1500 m), unido a las diferentes exposición de las laderas generan diversos microclimas. Los suelos son sueltos y la flora es la del Monte Occidental xerofítico

Se procesó una imagen Radarsat standard 7 beam mode. de época seca. Se aplicaron los siguientes mejoramientos :realce lineal; realce del contraste; realces no lineal : ecualización de histograma y los filtros: Gaussiano; Flee; Fmode; Fsharp;Frost

En el campo se describieron las unidades de paisaje o de tierras .En el área muestra seleccionada se caracterizaron ambientales que influyen en la respuesta del radar.

Se comparó visual y estadísticamente la imagen original y las imágenes producto con la realidad de campo. En la imagen radar se pudieron diferenciar las siguientes unidades de paisaje: Montañas sedimentarias y graníticas; conos aluviales planos aluviales; áreas inundables; terrazas bajas con cultivos; bosques y suelo desnudo.

Las unidades bajo inundable, cono aluvial , terraza alta con bosque y terraza baja con cultivos se pueden diferenciar muy bien del resto solamente en la IMAGEN CRUDA FILTRADA FGAMMA

Por las características tan similares del suelo desnudo con el plano aluvial no son fácilmente identificables excepto en la imagen calibrada Beta

A pesar de las diferencias en las características naturales del bosque y de la montaña sedimentaria las medias son similares con un desvío standard alto en la imagen realizada, por lo tanto se superponen las respuestas y no son separables.

♦ INTRODUCCIÓN

El deterioro ambiental por las actividades humanas no es un fenómeno reciente sin embargo la magnitud de la transformación actual del ambiente no tiene precedentes. Algunas regiones son muy susceptibles a la presión antrópica por sus características naturales. El conocimiento de la degradación de las tierras en esos ecosistemas y su monitoreo es especialmente necesario para controlarlo ; favorecer el desarrollo regional y alcanzar in situ el nivel nutricional que la población requiere.

\* Cátedra de manejo y Conservación de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires

\*\* Proyecto subsidiado por GLOBESAR (Canadá)

El diagnóstico rápido y eficiente de la degradación y otros procesos sucesionales en los ecosistemas permite encaminar los trabajos de conservación y restauración por vías naturales, logrando recuperar tanto los aspectos estructurales como los funcionales. Los ecosistemas no son unidades discretas con límites bien definidos sino que constituyen un conjunto de unidades y procesos funcionales que se dan en un espacio y tiempo dado, formando una unidad de estudio, de manejo o conservación de la naturaleza (FAO, 1984). Esa unidad es la unidad de *tierras o paisaje*.

Entendiéndose como Tierra a una porción de la superficie terrestre que involucra el clima, el suelo y su material original, la hidrología, la flora, la fauna y la actividad antrópica pasada y presente, en relación a su medio ambiente (FAO, 1976) (Zonneveld, 1979)

Por todo lo expuesto el objetivo de este estudio es determinar la utilidad de los diferentes tratamientos aplicados a la imagen radar para cartografiar "tierras". Esto permitirá el diagnóstico del estado de las tierras e implementar prácticas de manejo para la conservación de los recursos naturales.

♦ **Area en estudio:**

La cuenca del río Santa María ubicada entre los 24 30' y los 26 30' de latitud sur. tiene una extensión de 17000km<sup>2</sup> (Valencia y otros, 1970). presenta problemas de degradación desertificación de las tierras.

El clima del área estudiada se caracteriza por su aridez, lluvias concentradas en época estival, fuerte insolación anual, frecuentes vientos desecantes y baja humedad atmosférica que ocasiona elevada evapotranspiración.

En cuanto a los suelos, predominan los Torriortentes en los abanicos aluviales y en la parte superior de las terrazas altas. La terraza baja del río Santa María y el plano aluvial está ocupado por los Torrifluventes asociados con los Torripsamentos. En general son sueltos, mayormente arenosos, permeables, azonales, desprovisto de materia orgánica, fácilmente erosionables, de reacción alcalina y a veces salinos, con altos contenidos salinos en bajos. (Navone et al, 1995). El piso del Valle se encuentra entre (1000 y 1500 m), unido a las diferentes exposiciones de las laderas generan diversos microclimas.

La flora es la típica de la formación del Monte Occidental xerofítico abundantes especies medicinales y aromáticas

Los recursos hídricos provienen tanto de superficie como de profundidad.

♦ **MATERIALES Y MÉTODOS:**

En el campo se describieron las unidades de paisaje o de tierras. En el área muestra seleccionada se caracterizaron los siguientes parámetros ambientales que influyen en la respuesta del radar.

Dichos factores son: rugosidad del paisaje; pendiente; porcentaje de cobertura de la tierra; fisonomía de la vegetación; textura y humedad del suelo.

Se delimitaron en la imagen radar las unidades cartográficas de paisajes o tierras presentes en la región tal como se observa en la figura 1.

Se procesó una imagen Radarsat standard 7 beam mode. de época seca. Se empleó para ello el software de PCI, principalmente el XPACE, Image Works y GCPs.

Se comparó visualmente la imagen original y las imágenes producto con la realidad de campo.

En el caso de la comparación visual se evaluó cada resultado como alto, medio y bajo según el nivel de coincidencia con la realidad de campo.

**Los tratamientos realizados en la imagen fueron los siguientes**

	Sin tratamiento	Realce 1	Realce 2
Imagen Cruda	*	min x = 7 max x = 68	min x = 2 max x = 102
Imagen Calibrada	*	min x = 74 max x = 204	min x = 38 max x = 223

Excluye todos los valores por debajo de 7



De la imagen calibrada y de cada uno de los tratamientos se extrajeron los valores estadísticos correspondientes a la media y desvío estándar de las poblaciones de pixeles de cada unidad cartográfica previamente definidas. Se aplicó la fórmula de Swain y Davis (1978) para el cálculo de separabilidad entre las diferentes unidades cartográficas dentro de cada tratamiento. Los valores de separabilidad obtenidos se ubicaron en una matriz de 8x8 ; comparando cada unidad cartográfica con todas las restantes e indicando el coeficiente de separabilidad para cada una de las combinaciones posibles. Para cada tratamiento se realizó una matriz.

Los valores de separabilidad obtenidos se agruparon, luego de su estudio, en intervalos a fin de facilitar la interpretación de los mismos. Las categorías así definidas son las siguientes:

Orden	Intervalo de valores de separabilidad	Categoría
0	$X = 0$	NULA
1	$0 < X \leq 0,5$	BAJA
2	$0,5 < X \leq 0,89$	MEDIA
3	$0,89 < X \leq 1,9$	ALTA
4	$X > 2$	MUY ALTA

A partir de las citadas matrices se hizo un promedio de los valores de separabilidad calculados entre cada unidad cartográfica y las restantes a fin de obtener la utilidad de los distintos tratamientos.

#### ♦ RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el campo se identificaron y describieron las siguientes unidades cartográficas de tierras :

- 1) Cienago
- 2) Cono aluvial
- 3) Montaña 1 (formación rocosa ignea)
- 4) Terraza media (con bosque)
- 5) Terraza baja (cubierta con cultivos)
- 6) Plano aluvial
- 7) Montaña 2 (formación rocosa sedimentaria)

En las terrazas se diferenció la subunidad con suelo desnudo.

**Tabla 1 :Características de las distintas tierras**

Unidad cartográfica de tierras	VEGETACION		SUELOS		RUGOSIDAD	PENDIENTE
	Fisonomía	Cobert	Textura superficial	%Humedad	Del paisaje	
Cienago	Pastizal, vega, pajonal	100	franco-limoso	100	medio	0
Plano aluvial	pastizal /arbustal ralo	2	areno-franco	19	baja	0.5
Terraza baja	cultivos	60 a 80	franco-arenoso a areno franco	15 a 20	alta	1 a 2
Terraza alta	Bosque de algarrobo degradado	20 a 40	areno-franco	10 a 14	alta	1 a 2
Conos aluviales	estepa arbustiva	30	pedregosa	1	alta	5 a 10
Montaña ígneas	pastizal	5 a 10	roca	-	muy alta	30
Montañas sedimentaria	pastizal	5 a 10	roca	-	muy alta	30
Suelo desnudo	ninguno	0	arenoso, franco-arenoso,	0-5	baja	variable

El valor de rugosidad es un valor relativo entre unidades cartográficas y se refiere al paisaje.

♦ *A través del ANÁLISIS VISUAL DE LAS IMÁGENES DE RADAR DE ÉPOCA SECA* (agosto) y húmeda (enero) se pudieron diferenciar las siguientes unidades de paisaje: Montañas

Al comparar la imagen SAR Standard 7 beam mode con distintos procesamientos, con la realidad de campo surgen diferentes niveles de coincidencia por unidad cartográfica de paisajes. Esos resultados se presentan en las tablas 2 y 3. El término BAJO significa que la unidad cartográfica no se puede separar del resto ; MEDIO : unidades cartográficas se puede separar parcialmente y ALTO: unidades cartográficas fácilmente identificables.

Las diferencias se observan en la figura 2 (Imagen cruda con filtro Fsharp ) y figura 3 (Imagen cruda con filtro Fgamma).

**Tabla 2: Comparación por unidad cartográfica entre imágenes mejoradas con realce y sin procesar de Radarsat**

Unidad cartográfica de paisaje	Sin Realce	Realce linear	Ecuilización de histograma	Realce no linear
Cono aluvial	bajo	medio	medio/bajo	bajo
bosque	bajo/medio	alto	medio	medio/bajo
plano aluvial	alto	alto	medio	alto/medio
cultivo	bajo	alto	alto	medio
desnudo	alto	alto	alto	alto
bajo inundable	bajo	alto	alto/medio	medio
montaña sediment.	Medio	medio	medio	medio
granito	bajo	bajo	bajo	bajo

Aunque se probaron todos los filtros disponibles en el PCI sólo se muestran en el cuadro aquello que permitieron separar algunas unidades de paisaje entre si.

**Tabla 3: Comparación por unidad cartográfica entre imágenes procesadas con filtros y sin procesar**

Unidad cartográfica de paisaje	Sin filtro	Filtro Gamma	Filtro Sharp
Cono aluvial	bajo	medio	medio
bosque	bajo/medio	medio/bajo	medio
plano aluvial	alto	medio	medio
cultivo	bajo	medio	alto
desnudo	alto	medio	alto
bajo inundable	bajo	bajo	alto/medio
montaña	medio	medio	medio
granito	bajo	bajo	bajo

**DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS CITADOS REALCES Y FILTROS SURGE QUE:**

Los valores de separabilidad obtenidos para cada una de las combinaciones posibles se presentan en una matriz de 8x8 ; comparando cada unidad cartográfica con todas las restantes . A modo de ejemplo se presenta una de las matrices surgidas en la tabla 4.

**Tabla 4 :Valores de separabilidad por unidad cartográfica para la imagen cruda**

	Bajo Inundable	Cono	Montaña	Terraza	Suelo	Cultivo	Plano	Sediment
		3.272	3.272	3.272	3.272	3.272	3.272	3.272
	3.396		3.396	3.396	3.396	3.396	3.396	3.396
	1.485	1.485		1.485	1.485	1.485	1.485	1.485
	3.15	3.15	3.15		3.15	3.15	3.15	3.15
	2.53	2.53	2.53	2.53		2.53	2.53	2.53
	3.02	3.02	3.02	3.02	3.02		3.02	3.02
	2.679	2.679	2.679	2.679	2.679	2.679		2.679
	2.672	2.672	2.672	2.672	2.672	2.672	2.672	
MEDIA	2.7047	2.6871	2.96001	2.7221	2.81073	2.74070	2.789508	2.790431
DESVIO	0.6184	0.5895	0.33459	0.6423	0.67217	0.66004	0.677319	0.677255

En la tabla 5 se observa los valores de separabilidad medios calculados de cada unidad cartográfica en relación a las demás a fin de obtener la utilidad de los distintos tratamientos

**Tabla 5 :Valores promedio de separabilidad de cada unidad cartográfica (en relación a las otras siete) dentro de cada tratamiento**

Unidad Cartográfica	Cienago	Cono	Montaña 1	Bosque	Suelo	Cultivo	Plano aluvial	Montaña 2
<b>Tratamiento</b>								
1) Imagen cruda	0.806 MEDIA /ALTA	0.750 MEDIA	0.398 BAJA	0.720 MEDIA	1.120 ALTA	0.687 MEDIA	1.390 ALTA	0.742 MEDIA
2) Imagen Calibrada (Beta°)	0.745 MEDIA	0.749 MEDIA	0.473 BAJA	0.689 MEDIA	1.040 ALTA	0.614 MEDIA	1.340 ALTA	0.760 MEDIA
3) Cruda realzada 1	0.836 MEDIA	0.827 MEDIA	0.548 MEDIA	0.794 MEDIA	1.242 ALTA	0.689 MEDIA	1.589 ALTA	0.895 ALTA
4) Cruda realzada 2	0.815 MEDIA	0.761 MEDIA	0.472 BAJA	0.731 MEDIA	1.147 ALTA	0.687 MEDIA	1.435 MEDI A	0.776 MEDIA
5) Calibrada Realzada 1	0.748 MEDIA	0.787 MEDIA	0.503 MEDIA	0.716 MEDIA	1.069 ALTA	0.608 MEDIA	1.330 ALTA	0.850 ALTA
6) Calibrada Realzada 2	0.750 MEDIA	0.767 MEDIA	0.490 BAJA	0.705 MEDIA	1.053 ALTA	0.623 MEDIA	1.375 ALTA	0.820 MEDIA
7) Cruda Filtrada Fgamma	1.073 ALTA	1.038 ALTA	0.450 BAJA	0.953 ALTA	1.443 ALTA	0.883 MEDIA	1.881 ALTA	0.944 ALTA
8) Cruda Filtrada Fsharp	0.564 MEDIA	0.512 MEDIA	0.318 BAJA	0.509 MEDIA	0.803 MEDIA	0.486 BAJA	0.994 ALTA	0.529 MEDIA
9) Calibrada Filtrada Fgamma	0.848 MEDIA	0.856 ALTA	0.528 MEDIA	0.791 MEDIA	1.176 ALTA	0.701 MEDIA	1.517 ALTA	0.917 ALTA
10) Calibrada Filtrada Fsharp	0.622 MEDIA	0.627 MEDIA	0.405 BAJ A	0.567 MEDIA	0.872 ALTA	0.515 MEDIA	1.118 ALTA	0.668 MEDIA

De la tabla se desprende que las unidades bajo inundable, cono aluvial, terraza alta con bosque y terraza baja con cultivos se pueden diferenciar muy bien del resto solamente en la IMAGEN CRUDA FILTRADA FGAMMA

- ◆ La unidad montaña sedimentaria se identifica fácilmente en todos los tratamientos pero ocurre exactamente lo opuesto en la montaña ígnea lo que sugiere que la combinación de material original y porcentaje de cobertura determinan la respuesta.
- ◆ Por las características tan similares en el campo del suelo desnudo con el plano aluvial no son identificables excepto en la imagen calibrada (Beta)
- ◆ En todos los tratamientos se observó que las siguientes combinaciones tienen siempre valor de separabilidad mayor que 0.89. Las combinaciones son: plano aluvial con montaña 2 sedimentaria; plano aluvial con cono aluvial; suelo agrícola desnudo con cono aluvial y suelo agrícola desnudo con bosque sobre terraza alta.
- ◆ A pesar de las diferencias en las características naturales del bosque y de la montaña sedimentaria las medias son similares con un desvío standard alto en la imagen realizada, por lo tanto se superponen las respuestas y no son separables

#### ◆ CONCLUSIONES:

Por análisis visual y estadístico surge que la IMAGEN CRUDA FILTRADA FGAMMA es en la que se diferencian muy bien el mayor número de paisajes.

Los resultados hallados hasta ahora son alentadores. Es imprescindible seguir analizando estadísticamente las imágenes producto que resulten de los distintos procesamientos, además deberá compararse los datos surgidos de imágenes de época húmeda y seca por las enormes diferencias existentes en el campo.

#### BIBLIOGRAFIA:

- BIANCHI AR., 1981. Las precipitaciones en el noroeste Argentino Informe interno EERA Salta. INTA
- BRAUN BLANQUET J., 1950. Sociología Vegetal. ACME AG. 444 pag., 180 ilustraciones. BS. AS
- CONNOVER WJ, IMAN R., 1981. Rank transformation as a bridge between parametric and non parametric. The American statistician. 35:124-129
- F.A.O-PNUMA. 1984. Metodología provisional para la evaluación y la representación cartográfica de la desertización. Roma, 1984. pp74
- MUELLER-DOMBOIS AND ELLENBERG, H. 1974. Aims and methods of vegetation ecology-Wiley and Sons. NY
- THORNWAITE CW., 1948. An approach toward a rational classification. The geographical review. Vol. 38. N 1. pag. 55-94. 13 figs. 1 mapa .5 tablas
- SOIL SURVEY STAFF-Soil Taxonomy. Agr. Handbook 436-SCS, US DA. 1975
- SWAIN, P. y DAVIS, S., 1978. Remote Sensing: The quantitative approach. N.Y.: Mac Graw-Hill Book Co.
- ZONNEVELD, I.S. 1979. Land Evaluation and Landscape Science. International institute for aerial survey and earth sciences. VII 4. 127

Figura 1: Imagen cruda con filtro Fgamma y distintas unidades de tierras



\* cono aluvial \* plano aluvial  
bajo inundable/cienago

\*bosque \*montaña1 \*montaña2



Figura 3: Imágen cruda con filtro Fgamma





# IDENTIFICACIÓN MULTITEMPORAL DE CULTIVOS, EN LOS LLANOS OCCIDENTALES DE VENEZUELA, MEDIANTE EL USO DE IMÁGENES RADARSAT

**Ramiro Salcedo(\*), Xavier Bustos (\*\*), Heberto Pacheco (\*\*\*)**

(\*) Fundación Instituto de Ingeniería/CPDI . Fax: (582) 903.4781

(\*\*) Universidad Central de Venezuela (CENAMB) Fax: (582) 793.3273

(\*\*\*) Universidad Nacional Experimental de Los Llanos (UNELLEZ).

Email: ramiros@fii.org

Email: xbustos@cenamb.rect.ucv.ve

Email: heberpache@cantv.net

## RESUMEN

En este trabajo se evalúa el potencial de las imágenes de RADARSAT adquiridas en modo standard (S7), con resolución de 25 m. y órbita descendente, para identificar, en forma multitemporal, los cultivos en el sector de Turén, en los Llanos Occidentales de Venezuela.

Mediante el procesamiento digital de imágenes se aplicaron distintos algoritmos de mejoramiento de contrastes (Look-up-table), remoción de ruidos, técnicas de filtraje. Igualmente, se aplicaron algoritmos para el análisis de textura y detección de cambios, con el propósito de extraer la mayor cantidad de información de las imágenes para una positiva identificación de los cultivos. El georeferenciamiento de las imágenes se realizó con el objeto de ubicar los cultivos con respecto a su ubicación geográfica.

Se desarrolló un sistema de base de datos siguiendo la técnica de modelaje relacional con el objeto de ordenar, almacenar, consultar y analizar la información atributal asociada a la información espacial.

Los resultados preliminares obtenidos como producto de la aplicación de las técnicas antes mencionadas han demostrado la utilidad de los datos de RADARSAT para su uso sistemático en la identificación y evaluación de ciertos tipos de cultivos.

## Introducción:

La creciente disponibilidad de datos de sensores de microondas (radar de imágenes), con una muy amplia gama de alternativas de operación; aunado a las limitaciones que imponen los sensores ópticos a bordo de los satélites operacionales actuales y futuros, obliga a desarrollar capacidad en cuanto al uso del radar para aplicaciones que tradicionalmente estaban limitadas a estos últimos.

Tal es el caso de la agricultura, en la cual no se ha podido realizar el monitoreo de cultivos, así como la identificación de patrones texturales de los distintos tipos de coberturas naturales y agrícolas típicas de Venezuela, entre otras razones, porque la cobertura de nubes

impide la toma en secuencia de un conjunto de imágenes con las cuales se pueda realizar un estudio de esta naturaleza.

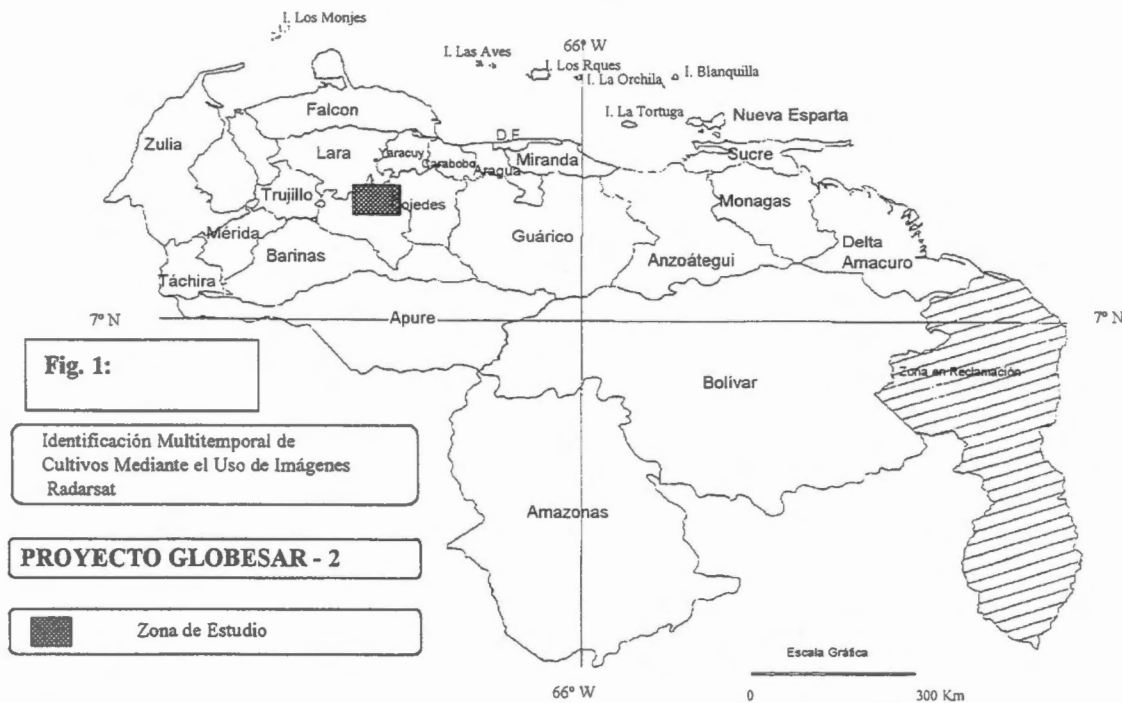
Los satélites de radar permiten programar la toma de imágenes de manera precisa en fechas determinadas. Factor absolutamente imprescindible en estudios agrícolas de este tipo.

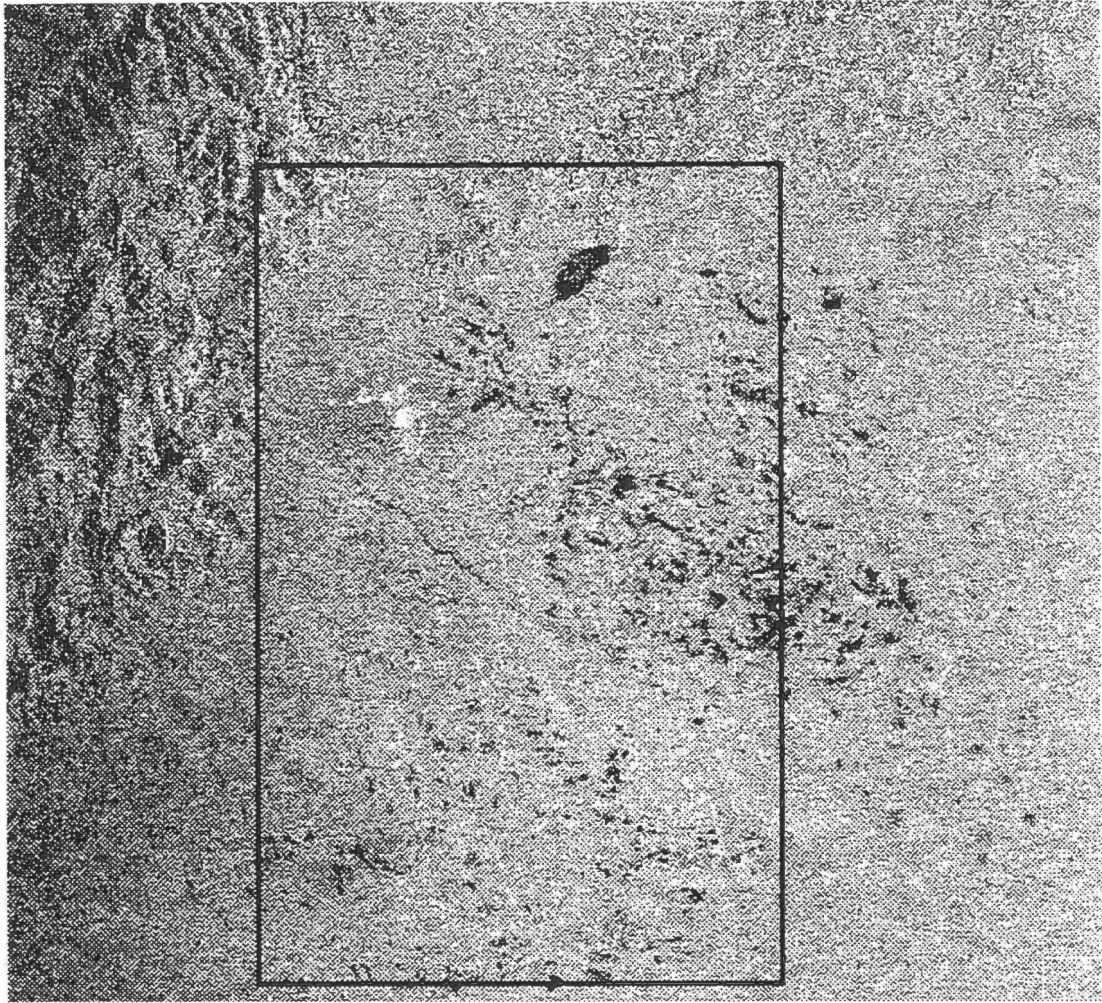
**Objetivo:**

Evaluar los datos del satélite RADARSAT en modo standard (30 m de resolución espacial) y técnicas de procesamiento de imágenes para la identificación de cultivos de arroz, maíz y caña de azúcar en un área de agricultura intensiva. Sin embargo, los cultivos objeto de este estudio se pueden encontrar en cualquier etapa de crecimiento, dado que se siembran casi durante todo el año implicando dificultades para su efectiva discriminación.

**Area de estudio:**

El área bajo estudio, la Unidad Agrícola de Turén (ver Figs. 1 y 2) en el Estado Portuguesa, es una zona, de aproximadamente 500.000 hectáreas, con fértiles suelos desarrollados con una agricultura especializada donde destacan, los cultivos de arroz, maíz y caña de azúcar entre otros..





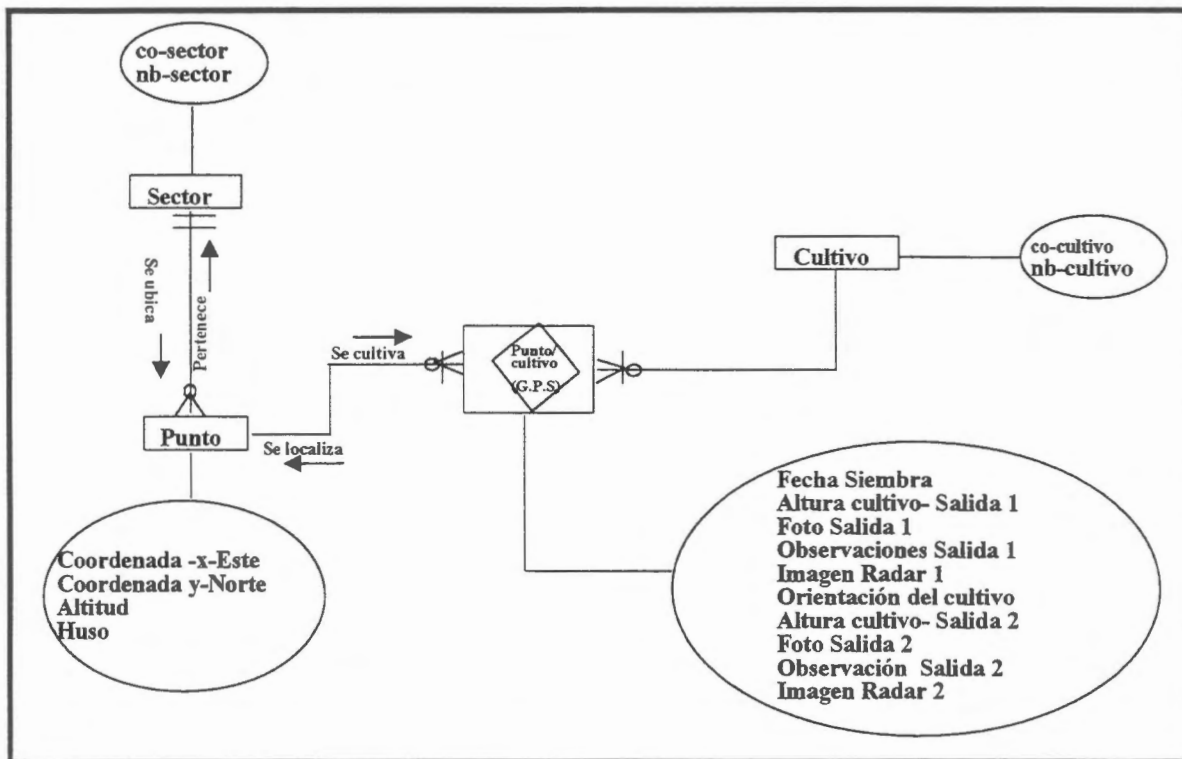
**Fig. 2:** Escena Radarsat S-7 de la región de Turén con área de estudio

**Metodología general:**

1. Obtención del calendario de cultivos de la zona:
2. Programación de la toma de las imágenes Radarsat
3. Adquisición de las imágenes
4. Toma de datos de campo en cada una de las fechas de toma de imágenes
5. Revisión bibliográfica
6. Análisis, diseño e implementación de un Sistema de Base de Datos
7. Procesamiento digital de las imágenes
8. Integración y Análisis del contenido de la Base de Datos con las imágenes SAR
9. Discusión de los resultados

**Metodología específica:**

1. De campo:  
Medición de Puntos GPS  
Fotos de los cultivos por punto y fecha  
Medición de la altura del cultivo e información relevante en cada fecha
2. De tratamiento de las imágenes:  
Interpretación visual en pantalla  
Selección y generación de sub-imágenes por tipo de cultivo para cada GCP  
Mejoramiento de contrastes y aplicación de filtros  
Análisis textural y de cambios  
Corrección geométrica
3. Del Sistema de Base de Datos:  
Se diseñó un modelo entidad-relación (ver Fig. 3) el cual se usa como soporte para la creación del sistema que almacena los datos de campo y las sub-imágenes finales procesadas referidas a cada punto de control de campo. El sistema fue desarrollado utilizando el manejador de bases de datos relacional ACCESS 97 de Microsoft.



**Fig. 3:** Modelo Entidad-Relación

## Estructura de la Base de datos:

### Entidades y Atributos

#### Entidad:

SECTOR. Se refiere al lugar geográfico (topónimo) donde está ubicado el cultivo.

#### Atributos:

co\_sector: Código del sector (campo clave)

nb\_sector: Nombre del sector.

#### Entidad:

PUNTO. Se refiere a los puntos geográficos de control tomados en campo.

#### Atributos:

co\_punto: Código del punto.

coordenada-x-este: Coordenada UTM –Este en metros.

coordenada-y-norte: Coordenada UTM-Norte en metros.

altitud: Elevación en metros sobre el nivel del mar.

huso: Ubicación del punto dentro del huso horario.

La clave de la entidad está conformada por los campos (Coordenada X Este, Y Norte)

#### Entidad:

CULTIVO. Almacena los diferentes rubros sembrados.

#### Atributos:

co\_cultivo: Código del cultivo (campo clave)

nb\_cultivo: Nombre del cultivo.

### Relaciones o Asociaciones

#### Relación:

PUNTO-CULTIVO. Almacena los cultivos presentes en los puntos de observación.

#### Atributos:

Fecha\_siembra: Fecha de siembra del cultivo.

Orientación: Orientación del surco de siembra.

Altura 1ra salida: Altura del cultivo en metros para la fecha (23/06/97)

Foto 1ra salida: Fotografía del cultivo en la 1ra. salida.

Imagen Radar Junio: Sub-Imagen (Jun.)procesada en el área del cultivo

Observación 1ra salida: Comentario sobre algún tópico del cultivo detectado.

Altura 2da salida: Altura del cultivo para la fecha de la 2da salida (03/09/97)

Foto 2da salida: Fotografía del cultivo para la 2da salida.

Observación 2da salida: Comentario sobre algún tópico del cultivo detectado.

Imagen Radar Septiembre: Sub-Imagen procesada (Sep.)en el área del cultivo

La información de campo de las áreas-muestra seleccionadas fue obtenida simultáneamente con cada uno de los pasos del satélite. Los datos obtenidos en el terreno fueron referenciados a un punto de observación con coordenadas X,Y medidas con GPS. En cada punto se midió: tipo de cultivo, altura, fecha de siembra, orientación de los surcos, y otra información relevante; además, se tomó la fotografía correspondiente.

La programación de las imágenes requeridas para el estudio se hizo tomando en cuenta el calendario de cultivos prevaeciente en la región; de esta manera se programó la toma de tres imágenes para 15 de junio, 10 de agosto y 15 de octubre de 1997. Sin embargo, cambios en las prioridades de adquisición de RSI dio como resultado la adquisición de sólo dos escenas: 23 de junio y 3 de septiembre. Esto implicó limitaciones en lo que se refiere a las posibilidades de identificar y discriminar apropiadamente los cultivos antes mencionados.

#### Discusión de resultados y conclusiones preliminares:

1. La identificación del Arroz ha sido exitosa al punto de poder separarse hasta 5 estadios distintos de crecimiento del cultivo. Los estados fenológicos extremos son particularmente distinguibles (ver Fig. 4).

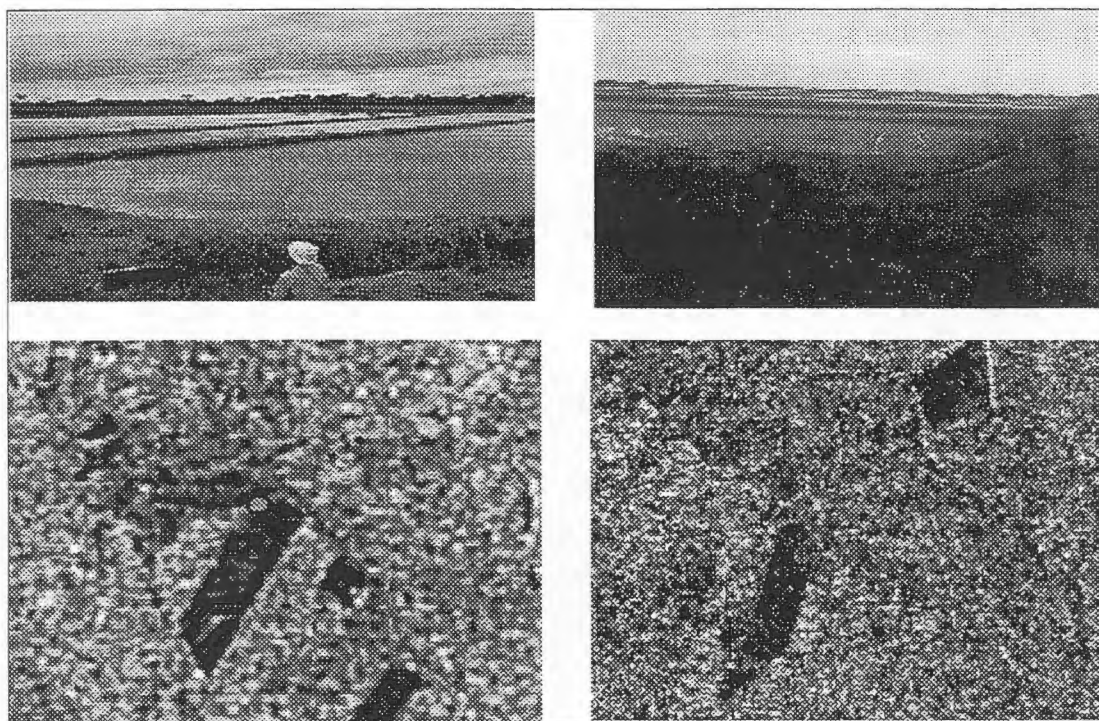


Fig. 4: Fotos e imágenes de cultivos de arroz en Junio (izq.) y Septiembre (der.) de 1997

2. La identificación del Maíz tiende a ser generalmente confusa. Sin embargo, los tonos claros suelen caracterizar los cultivos en su etapa inicial y media; tonos oscuros



identifican aquellos en etapas maduras. Los suelos desnudos recién preparados tienen similar respuesta a los primeros –tonos claros- (ver Fig. 5).

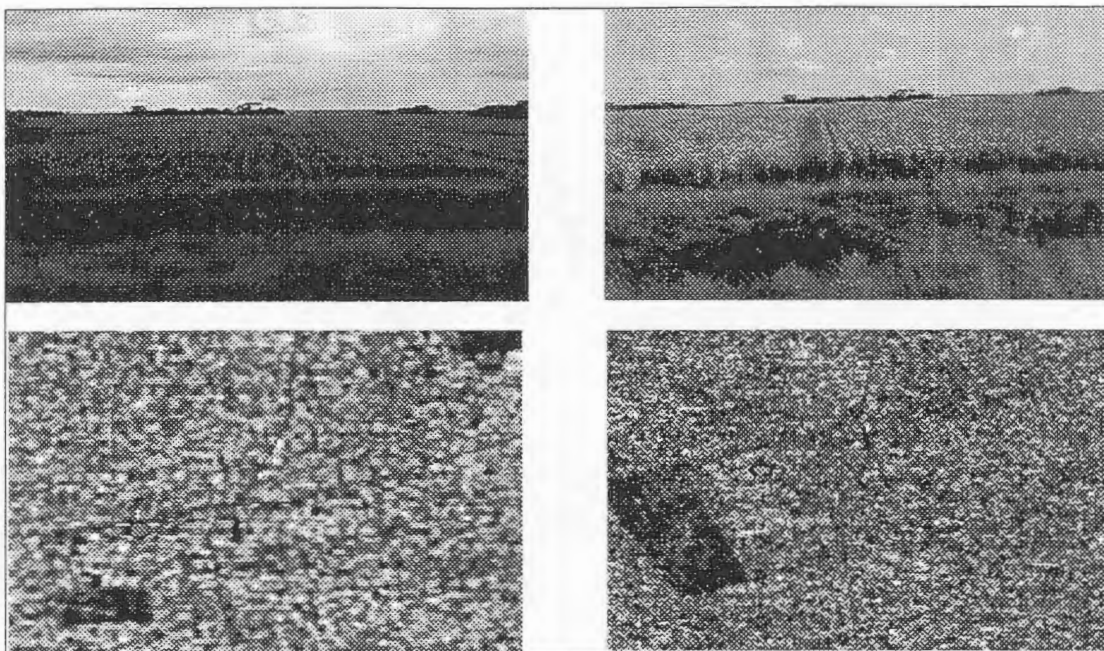


Fig. 5: Fotos e imágenes de cultivos de maíz en Junio (izq.) y Septiembre (der.) de 1997

3. El comportamiento espectral de la Caña de Azúcar es similar al del Maíz en sus distintas etapas de crecimiento, lo cual hace difícil su discriminación (ver Fig. 6).

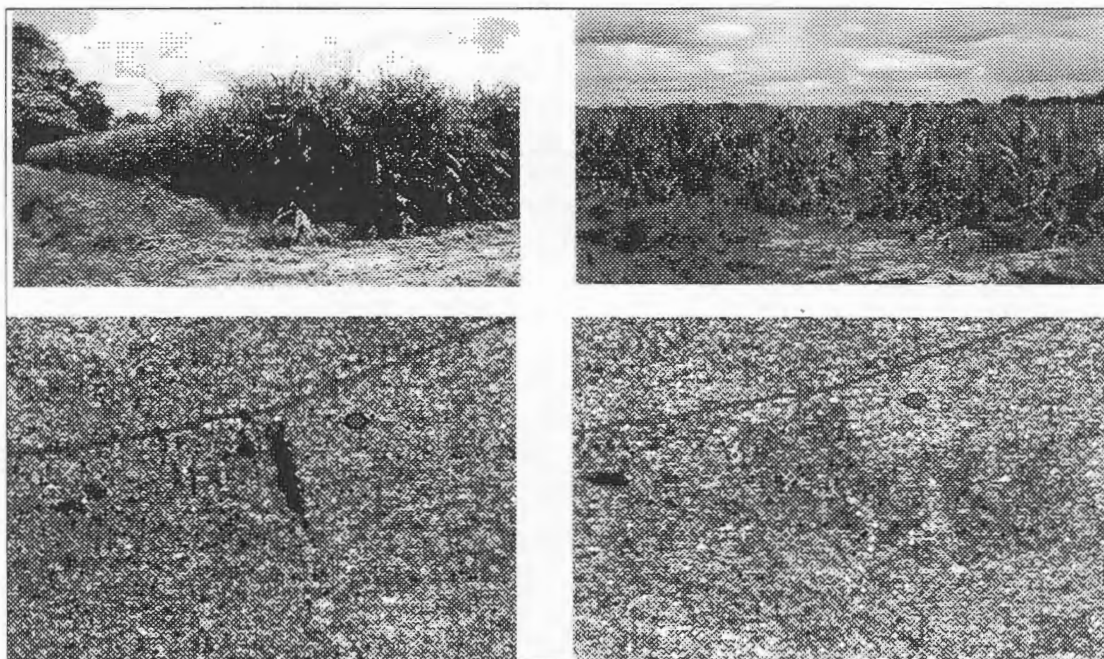


Fig. 6: Fotos e imágenes de caña de azúcar en dos etapas de crecimiento

4. La información contextual (criterios de asociación) es fundamental para la identificación del Maíz y la Caña de Azúcar.
5. El diseño e implementación de un sistema de base de datos relacional para la adecuada consulta y manejo de la información, es altamente útil y recomendable.
6. En cuanto a Mejoramiento de Contrastes, los mejores resultados se obtuvieron usando el método lineal (linear w/tail).
7. Los filtros de paso bajo aplicados a las imágenes no mejoraron su calidad debido a la ausencia casi total de ruido.
8. Se evaluaron distintos filtros pasa alto para detectar bordes (F/Sharp, Sobel, Laplacian y Prewitt), encontrándose que los mejores resultados se obtuvieron con el F/Sharp con ventanas de 3x3 y 5x5 y 7x7 debido a que éste realza muy bien elementos lineales como vías, bordes de parcelas, y camellones entre parcelas de arroz inundadas, sin afectar mayormente la calidad de la imagen.
9. En áreas de cultivos homogéneos como maíz y caña de azúcar, resultó más útil la aplicación de LUT's que los filtros.
10. El análisis textural preliminar realizado sobre un sector representativo de la imagen no arrojó resultados significativos para la discriminación de cultivos. Sin embargo, esta técnica será objeto de un tratamiento más exhaustivo en la siguiente etapa de esta investigación.
11. Un análisis preliminar de la técnica de detección de cambios (Change Detection) ha aportado interesantes elementos de análisis para la diferenciación de cultivos en etapas extremas de su estado fenológico.
12. Ciertas características muy resaltantes en el terreno, no se pudieron observar en las imágenes por encontrarse paralelas a la señal del radar.
13. El trabajo de campo realizado simultáneamente a la toma de las imágenes ha demostrado ser de fundamental importancia en aplicaciones de monitoreo e identificación de cultivos.

# MONITOREO DEL USO Y COBERTURA DE LA TIERRA EN EL AREA AGRICOLA DE LA CUENCA DEL RIO LUJAN MEDIANTE DATOS DE RADAR

**Serafini, María Cristina (1)**  
**Raed, Mirta Aída (1) (2)**  
**Antes, Miriam Esther (1) (2)**  
**Cuello, Alfredo Rafael (1) (2)**

(1) Programa de Desarrollo e Investigación en Teledetección (PRODITEL)  
Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján  
C.C. 221; (6700) Luján, Buenos Aires, Argentina.  
E-mail: [proditel@unlu01.edu.ar](mailto:proditel@unlu01.edu.ar)

(2) Centro de Sensores Remotos. Fuerza Aérea Argentina  
Av. Dorrego 4010 (1425); Capital Federal, Buenos Aires, Argentina  
E-mail: [censenso@faa.mil.ar](mailto:censenso@faa.mil.ar)

## ABSTRACT

The RADARSAT satellite equipped with C-Band Synthetic Aperture Radar (SAR), 5,6 cm wavelength, HH polarization, presents a great potential in many areas of research (agriculture, forestry, cartography, hydrology, geology, land cover and land use, etc), flexibility of the sensor image in a variety of beam modes and position, and possibility of the use of this data in conjunction with imagery from other satellite.

The purpose of this project is to develop a method related to the identification of different land use and land cover in the Luján river basin area by means of multitemporal analysis of radar data.

This study is carried out within the GlobeSAR 2 Project, held by the Canadian Remote Sensing Centre. The data necessary for this study is based on C-Band Synthetic Aperture Radar (SAR) of Radarsat satellite, Standard beam mode, position 2 (S2) of May 27, 1997 and Fine mode, position 3 (F3), of May 26 and December 28, 1997.

Several research projects using optical data, such as Landsat TM, are being held in order to evaluate the environmental conditions of this basin. The use of radar data will contribute important information for comparing and completing these previous researches with optical satellite data.

## RESUMEN

El satélite RADARSAT equipado con la banda C del Radar de Apertura Sintética (SAR), con 5,6 cm de longitud de onda y polarización HH, provee de información que presenta un gran potencial en muchas áreas de investigación (agricultura, forestación, cartografía, hidrología, geología, uso y cobertura de la tierra, etc.), flexibilidad en cuanto a la variedad de modos y posiciones del haz, y posibilidad de combinación con imágenes provenientes de otros satélites.

El propósito de este proyecto es desarrollar un método relacionado a la identificación de los diferentes usos y cobertura de la tierra en la Cuenca del Río Luján por medio del análisis multitemporal de los datos de radar.

El presente estudio se lleva a cabo en el marco del Proyecto GLOBESAR2, soportado por el Centro Canadiense de Percepción Remota. El material utilizado consiste en información correspondiente a la banda C del Radar de Apertura Sintética (SAR) del Radarsat, modo Standard, posición 2 (S2) del 27 de mayo de 1997; y modo Fino, posición 3 (F3), del 26 de mayo y 28 de diciembre de 1997.

Varios proyectos de investigación, con información obtenida a partir de sistemas ópticos (tales como Landsat/TM) se están llevando a cabo con el objetivo de evaluar las condiciones ambientales de dicha cuenca. El uso de información radar puede aportar importante información para comparar y completar los estudios realizados con datos de sistemas ópticos.

## **Introducción**

La Cuenca del Río Luján se encuentra situada en la denominada "Pampa ondulada", área ésta de mayor actividad agrícola de la Región Pampeana, en el noreste de la Provincia de Buenos Aires, entre los 34 ° 40' y 34 ° 50' S, y 58 ° 30' y 59 ° 58' O. Comprende aproximadamente unas 230.000 hectáreas. (Figura 1)

En el marco del PRODITEL, se están llevando a cabo varios proyectos de investigación, basados en el análisis de información obtenida por sistemas sensores ópticos, tales como el Landsat/TM, con el propósito de evaluar las condiciones ambientales de dicha Cuenca. Las imágenes obtenidas a partir del Landsat/TM, debido a su alta resolución espacial y espectral, han resultado ser una eficaz herramienta en el monitoreo de áreas agrícolas. La información aportada por los sensores ópticos en el rango del visible e infrarrojo cercano y medio, estrechamente ligada a las características físico-químicas de la vegetación (pigmentos presentes, estructura foliar, contenido de humedad, etc.), ayuda notoriamente en la discriminación de los distintos tipos de cobertura.

La oportunidad brindada por el Programa GlobeSAR facilitando la utilización de los datos Radarsat, a fin de evaluar su potencialidad para distintas aplicaciones, ha permitido contar con información que puede ser de gran utilidad en aplicaciones agrícolas.

El SAR de Radarsat registra información en una sola banda espectral correspondiente al rango de las microondas (5.6 cm). Esta única banda puede combinarse con datos obtenidos por otros sistemas sensores a fin de crear imágenes compuestas que permitan mejorar las evaluaciones de áreas agrícolas.

Los principales objetivos del presente trabajo son:

- 1) Determinar la potencialidad de los datos de radar para el monitoreo de uso y cobertura de la tierra en el área correspondiente a la Cuenca del Río Luján, evaluando los efectos de los distintos modos y posiciones derivados de la geometría de la toma.
- 2) Evaluar la posibilidad de identificar cultivos y estimar áreas cultivadas en diferentes estaciones del año.
- 3) Comparar el uso de datos radar con datos provenientes de sensores ópticos (Landsat/TM) a fin de lograr una mejora en el monitoreo del uso y cobertura de la tierra, en especial de áreas agrícolas.

## **Area de Estudio**

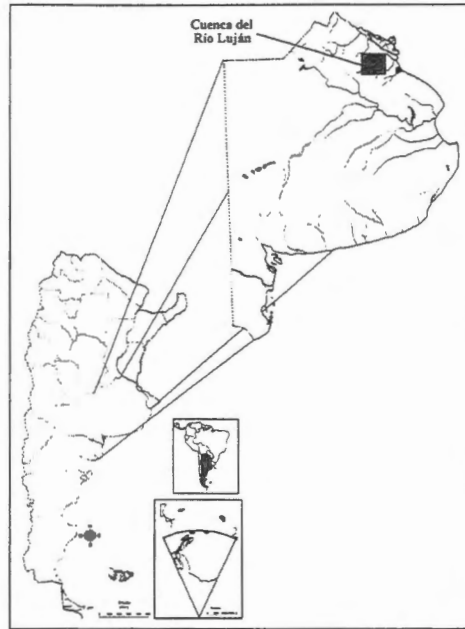
El río Luján, curso principal de la cuenca que lleva su nombre, tiene una longitud de aproximadamente 130km, se extiende en sentido SO-NE, limitando al norte con la cuenca del río Areco, al oeste con la cuenca del río Salado y al sudeste con la cuenca del río Reconquista

La cuenca superior se caracteriza por un paisaje fluvial con suaves ondulaciones y suelos heterogéneos y alcalinos, siendo el uso de la tierra predominantemente ganadero y agrícola.

La cuenca media se caracteriza por un relieve ligeramente más acentuado, presenta suelos con buena aptitud y drenaje, siendo el uso de la tierra preferentemente: agricultura, horticultura, forestación y ganadería.

La cuenca inferior se caracteriza por la presencia, en el tramo final, de bañados y lagunas, debido a los procesos de anegamiento del río Paraná, presenta suelos de escasa fertilidad

Esta cuenca pertenece, de acuerdo con la clasificación climática de Koeppen, al tipo climático Cfa: templado húmedo con veranos calurosos y régimen pluviométrico de primavera y verano, con máximos de 1400 mm y mínimos de 600 mm al año, permitiendo esto el buen desarrollo de diferentes cultivos, siendo el trigo el principal cultivo de invierno y el maíz y la soja de verano.



**Figura 1: Localización del área de estudio: Cuenca del río Luján**

#### **Material y métodos**

Para el desarrollo del presente estudio fueron utilizadas imágenes SAR de RADARSAT, en modo estándar (S2), y modo Fino (F3), imágenes Landsat/TM , órbita 225-084 y cartas topográficas del IGM, a escala 1:100.000 y 1:50.000. En los cuadros 1 y 2 se presentan las características de los productos satelitarios utilizados.

Fueron programados dos controles terrestres sobre el área de estudio; el primero se llevó a cabo en el mes de diciembre y el segundo en el mes de febrero, en ambos se obtuvo información sobre las características de los distintos tipos de cobertura., teniendo en cuenta distintas variables agronómicas, tales como, ocupación del suelo, tipo y estado del cultivo, etc.

Modo Operacional del Haz	Estándar	Fino
Posición del Haz	S2	F3
Angulo de Incidencia (grados)	24 - 31	41 - 44
Resolución Nominal (metros)	30	10
Espaciado del Pixel (metros)	12,5	6
Area Nominal (kilómetros)	100x100	50x50
Orbita	descendente	descendente
Fechas	27/ 05/ 1997	26/ 05/1997 28/ 12/1997 17/ 02/1998

**Cuadro 1: Características de los datos Radarsat utilizados**

Orbita y Punto	225 / 084
Resolución Nominal (metros)	30
Area Nominal (kilómetros)	185 x 185
Fechas	1994 - 1997

**Cuadro 2: Características de los datos Landsat/TM utilizados**

Los pasos seguidos en la metodología aplicada se definen a continuación:

1. Calibración de los datos SAR Radarsat
2. Georreferenciación de Imágenes SAR Radarsat
3. Registración de Imágenes SAR Radarsat
4. Análisis multitemporal: detección de cambios
5. Filtrado de imágenes: reducción del efecto Speckle
6. Generación de Productos Fotográficos Especiales
7. Interpretación visual preliminar de las imágenes radar
8. Control terrestre del área de estudio
9. Generación de mapas temáticos mediante interpretación visual
10. Generación de mapas temáticos mediante clasificación supervisada de datos radar
11. Comparación de los resultados obtenidos a través de ambos métodos (visual y digital)
12. Comparación de datos ópticos y de radar
13. Integración de la información en un Sistema de Información Geográfica (GIS)

En esta primera etapa del proyecto se utilizó la información SAR Radarsat en modo Fino F3, con una posición del ángulo de incidencia entre 41° y 44° del 26 de mayo y del 28 de diciembre de 1997 (Cuadro 1). Todo el tratamiento digital de la información se llevó a cabo mediante la utilización del Sistema de Procesamiento de Imágenes, RADARSOFT de PCI.

Con el objeto de calibrar los datos Radarsat, a fin de corregir el efecto de las diferencias de iluminación a lo largo de la línea, fue calculado el ángulo de incidencia, sobre las imágenes de ambas fechas, a través de la aplicación del módulo SARINCD, posteriormente se procedió a la calibración de las imágenes mediante la aplicación del módulo SARSIGM.

La imagen del 26 de mayo fue georreferenciada mediante la aplicación del módulo REGPRO el cual utiliza las coordenadas geográficas de referencia, (x e y de cada esquina de la imagen); esta imagen georreferenciada fue utilizada como base para realizar la registración de la imagen del 28 de diciembre (GCPWORKS), previa definición de 30 puntos de control.

Con el objetivo de detectar los cambios producidos en el uso y cobertura de la tierra entre las fechas bajo análisis se realizó una resta imágenes. La resta resultará en valores positivos y valores negativos en aquellas áreas donde se observaron cambios y cero en aquellas áreas donde no se observaron cambios. En un análisis con valores de pixeles entre 0 y 255, el rango potencial de los valores de diferencia será - 255 a 255, los resultados normalmente deben ser transformados a valores positivos por medio de la adición de una constante. La operación se expresa matemáticamente como:

$$DVD_{ij} = VD_{ij}(2) - VD_{ij}(1) + c$$

donde  $DVD_{ij}$  : Diferencia del Valor Digital  
 $VD_{ij}(1)$ : Valor Digital de la imagen del 26 de mayo  
 $VD_{ij}(2)$ : Valor Digital de la imagen del 28 de diciembre  
 $c$  : constante  
 $i$  : número de línea  
 $j$  : número de columna

La mayoría de las imágenes generadas a partir de sensores radar presentan ruido "speckle", que torna dificultosa la interpretación; resulta por lo tanto necesario reducir este efecto, por ello y con el propósito de obtener productos cuyos datos puedan ser interpretados con facilidad, logrando una disminución del mismo se procedió a la aplicación de diferentes filtros. Existen varios algoritmos de



filtrado específicamente diseñados para datos SAR, entre otros filtros LEE, FROST, GAMMA, etc. Para este estudio se aplicaron los filtros adaptativos LEE y FROST y el filtro no adaptativo AVERAGE.

### Resultados

En la figura 2 se observa la imagen SAR Radarsat del 26 de mayo, donde las parcelas en tonos de grises claros corresponden a suelos arados, destinados a cultivos de invierno (A); estos tonos claros son resultado del significativo incremento en la señal retrodispersada debido al aumento de la constante dieléctrica por la presencia de humedad en el suelo y al aumento de la rugosidad del terreno.

Las parcelas con tonos de grises intermedios corresponden a suelos secos desnudos o con rastrojo en superficie (R).

Las parcelas con tonos de grises más oscuros se corresponden con vegetación ya sea pastizales (P) o montes implantados, áreas parquizadas (Q), existiendo dificultad para diferenciar estos tipos de cobertura vegetal, aunque puede observarse en las áreas ocupadas por masas forestales un suave efecto "moteado" provocado por la textura rugosa y en el caso de "cortina" forestales, (CF), éstas pueden ser identificadas con precisión dependiendo de la polarización de la radiación y del sentido de la órbita.

En la figura 3 se observa la imagen del 28 de diciembre donde la mayor parte de las parcelas con cultivo cosechado, especialmente trigo (R), se observan en tonos oscuros.

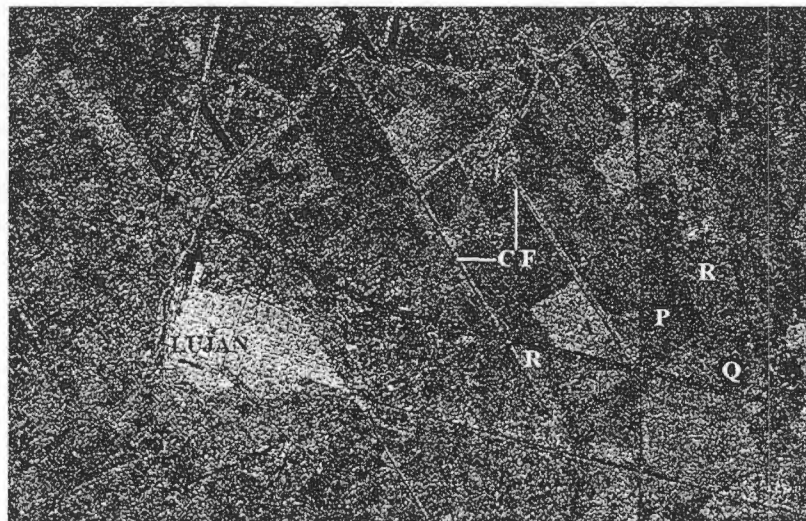
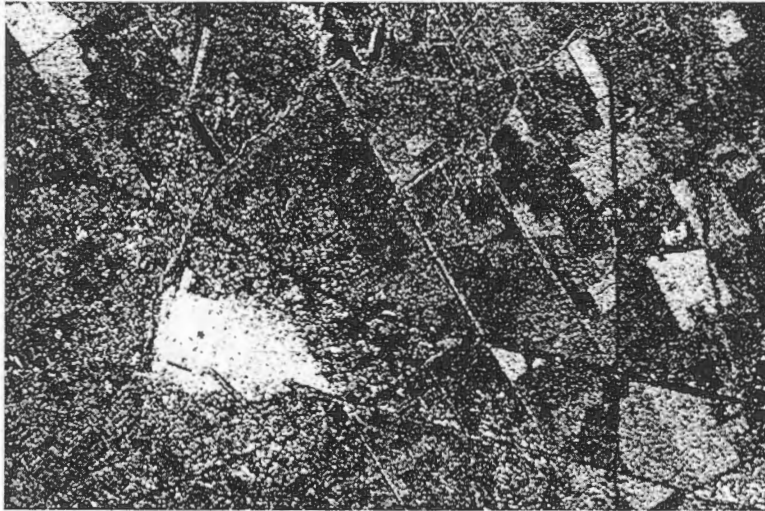


Figura 2: Imagen SAR Radarsat, modo F3 del 26 de mayo 1997



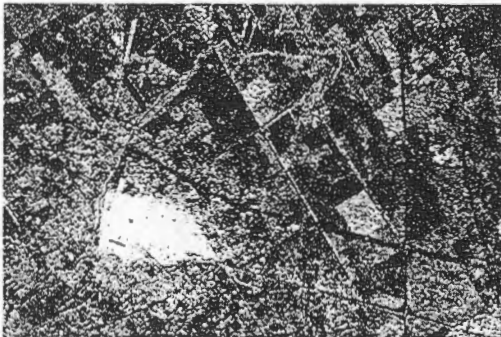
Figura 3: Imagen SAR Radarsat, modo F3 del 28 de diciembre de 1997

El producto obtenido a partir de la combinación de la imagen 1 (26 de mayo), filtro azul; imagen 2 (28 de diciembre), filtro verde e imagen resultado 2 - 1, filtro rojo, (Figura 4), las áreas que han manifestado un cambio en la respuesta espectral entre ambas fechas, por ejemplo parcelas destinadas a cultivos de invierno, (trigo), aparecen con tonos azules, esto es debido al alto valor espectral obtenido por el sensor en la imagen de la primera fecha o con tonos amarillos cuando se trata de parcelas destinadas a cultivos de veranos, ya que se registra un valor espectral más alto en la imagen de la segunda fecha



**Figura 4: Producto obtenido al realizar restas de imágenes**

El filtro FROST, con una ventana de 3 x 3 fue el que presentó mejor resultado en la eliminación del ruido "speckle", al ser comparado visualmente con los otros filtros aplicados (Figuras 5 y 6)



**Figura 5: Imagen filtrada 26 de mayo**



**Figura 6: Imagen filtrada 28 de diciembre**

### **Conclusiones**

Cuando se trabaja con imágenes SAR Radarsat correspondiente a diferentes fechas resulta fundamental calibrar radiométricamente la señal retrodispersada, a fin de poder realizar una comparación precisa entre los datos obtenidos.

Antes de llevar a cabo un análisis multitemporal que conduzca a detectar cambios entre la información aportada por imágenes en diferentes momentos es necesario realizar georreferenciación de la imagen

correspondiente a la primera fecha y posterior registraci3n de la imagen correspondiente a la segunda fecha.

La aplicaci3n del filtro FROST, con ventanas de 3 x 3, permiti3 obtener los mejores resultados en la disminuci3n del efecto "speckle"

Los procesamientos de im3genes realizados han permitido obtener productos que pueden ayudar en el monitoreo del uso y cobertura de la tierra.

Estos resultados preliminares alientan a continuar con el desarrollo de esta metodolog3a, incorporando en el futuro informaci3n correspondiente a otra fecha de an3lisis y comparaci3n con datos obtenidos por sensores 3pticos.

### **Agradecimientos**

Los autores agradecen a las Instituciones que participan del Programa GlobeSAR 2 : Agencia Internacional de Desarrollo Canadiense, Centro Internacional de Investigaci3n y Desarrollo, Centro Canadiense de Sensores Remotos y Recursos Naturales de Canad3, Radarsat Internacional, Empresas PCI y Atlantis Cient3fica, quienes posibilitan el desarrollo del presente Proyecto.

Asimismo, agradecen al Sr. Marcos Angelini por el apoyo brindado para la preparaci3n de este documento.

### **Referencias**

- Brown, R.J. ; Brisco, B.; D'Iorio, M.A.; Prevost, C.; Ryerson, R.A y V. Singhroy. 1996. Radarsat Applications: Review of GlobeSAR Program; Canadian Journal of Remote Sensing Vol.22, N° 4.
- Brown, R.J. ; Brisco, B.; Leconte, R.; Major, D.J.; Reichert, G.; Korporal, K.D.; Bullock, P.R.; Pokrant, H. y J. Culley. 1993. Potential applications of RADARSAT data to agriculture and hidrology; Canadian Journal of Remote Sensing, Vol. 19 N° 4, p. 317 - 329.
- D'Iorio, m. A., Vibulsresth, S., Dowreang, D., Silapathong, C., Polngam, S. y Gordon, H.A. 1995. Identification of agriculture and land use practices in southern Thailand from SAR data; Canadian Journal of Remote Sensing, Vol. 21 N° 2, p. 165 - 176
- McNairn, H., Boisvert, J.B., Major, D., Gwyn, Q.H.J.; Brown, R.J. y Smith, A. 1996. Identification of agricultural tillage practices from C- band radar backscatter; Canadian Journal of Remote Sensing, Vol. 22, N° 2, p. 154 - 162.
- Wolfe, J.; Hawkings, B.: Retro- Active Calibration of Radarsat CEOS Product.

**INFORME RADARSAT HONDURAS**  
**1998**  
**Cristobal Vásquez**  
**Administración Forestal del Estado (AFE)**  
**Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal (COHDEFOR)**  
**Apdo. 1378, Tegucigalpa, Honduras**  
**c.e. [cohdefor@ns.gbm.hn](mailto:cohdefor@ns.gbm.hn)**

## **INTRUDUCCIÓN:**

Honduras es montañosa presentando una topografía muy irregular o escarpada, con elevaciones de hasta 2800 metros sobre el nivel del mar y grandes variaciones de la pendiente en cortas distancias.- Los suelos por lo general son poco profundos (menos de 15 cm.), pedregosos, ácidos y de alto riesgo de erosionabilidad y susceptibles a los deslizamientos de tierra.

El sistema hidrográfico está formado por 19 ríos principales que nacen en las zonas montañosas y desembocan en ambos océanos: El Atlántico y el Pacífico a través del Golfo de Fonseca.- Una densa red de ríos secundarios y quebradas drenan sus aguas a través de las montañas y valles interiores, de tal forma que la cobertura forestal tiene una función fundamental en la regulación del régimen hidrológico en cuanto a calidad y caudal de las fuentes de agua.

La zona montañosa de pendientes abruptas, generalmente mayores de 30% está naturalmente cubierta por bosques de coníferas y de latifoliadas.

Las aguas de drenaje superficial son utilizadas, tanto para el consumo humano, como para la irrigación de cultivos agrícolas, la generación de energía hidroeléctrica y otros usos industriales.

La mayor parte de la población rural se encuentra en las laderas de vocación forestal, los cultivos en general son: Granos básicos como maíz y frijoles, cultivos semi-permanentes como el café, caña de azúcar y la ganadería.

## **PRESENTACIÓN.**

En base a lo anterior las investigaciones como parte de Proyecto RADARSAT se centran en la problemática del uso del SUELO en las áreas de los sectores de la Agricultura , Forestal y Recursos Hidricos.

- Clasificación del Uso Actual de la Tierra en la Cuenca del Rio Yeguaré, Región Centro Oriental de Honduras.
- Evaluación de la Deforestación en el Parque Nacional "CUSUCO"
- Análisis Digital del Uso Actual en el Golfo de Fonseca.
- Uso actual de las Áreas Ejidales del Municipio de Tatumbla. Región del Yeguaré.
- Evaluación del Desarrollo de Tierras y sus Tendencias, para un Ordenamiento Territorial del Valle de Sula.
- Caracterización del Uso de la Tierra en el Refugio de Vida Silvestre Cuero y Salado.
- Evaluación de los Distintos Tipos de Usos y Dinámica de Intervenciones en los Humedales del Valle de Sula.
- Identificación de las Principales Áreas de Recarga de Agua Subterránea en el Valle de Sula.

## MULTISOURCE SATELLITE DATA FOR CROP DISCRIMINATION AND EARLY ACREAGE ESTIMATION

P. Mercuri\*, L. Frulla\*\*, C. Rebella\*, A. Gagliardini\*\*

\*National Institute for Agricultural Technology (INTA)  
Climate and Water Institute, 1712 Castelar - Buenos Aires  
Argentina  
Phone/fax (54-1) 621-0125/1684  
pmercuri@inta.gov.ar

\*\*Satellite Radiometry Group, Radsat - CONICET  
Julián Alvarez 1218  
1414 Buenos Aires, Argentina

The main agriculture area of Argentina, "the pampeana region" comprises 60 millions of hectares.

The southeast part of Buenos Aires province was taken as a site of study. Crop inventory in this area and in Argentina in general presents a lot of difficulties because of the extremely complex mix of land uses, land covers and different field sizes. The winter and summer crops varies their proportion each year due to different reasons.

The area under present study has one principal winter crop: wheat and four summer crops: corn, sunflower, soybean and potato. Pastures alternate each year during the agriculture rotation.

Agriculture monitoring needs data during a limited period of time to be effective. The problem of data availability is a key factor limiting an operational use of satellite Remote Sensing in agriculture.

Nowadays optical satellite images are using operationally for crop inventories and crop development monitoring. However Synthetic Aperture Radar of RADARSAT satellite offers the opportunity to obtain cloud-free imagery at the appropriate time.

From the perspective of increasing our understanding of the uses and possibilities of SAR data, this agricultural research within GLOBESAR II Argentine program is focused on the following objectives:

- 1) To assess the temporal and spectral complementary of Landsat and RADARSAT data to improve crop discrimination during the growing season,
- 2) To analyze the possibility to produce early area estimation of certain agricultural crops through their temporal backscatter characteristics.

In order achieve objectives a multisource and multitemporal set of 5 RADARSAT descending mode and 2 Landsat TM are used.

To fulfill this goal this study incorporates a body of research, which include the following topics and steps:

- calibration of the RADARSAT standard beam mode images.
- relation between agricultural parameters and backscatter measurements.
- georeferenciation and registracion to Gauss-Kruggger projection of all the data set.
- strategies to data fusion of Landsat and RADARSAT images for land use and crop identification, using close and far dates in the same growing season.
- different classification and segmentation techniques to crop identification using temporal backscatter profiles.

The main and preliminary **results** to be presented during the Cartagena mid-term symposium are the following:

- The Radar backscatter properties (at RADARSAT C- band) of the main crops of the area, from early crop establishment through to maturity and harvest.
- Analysis of changes in crop backscatter temporal profiles in relation to agronomic variables and soils type in the same agricultural area.
- The influence of the environmental effects (dew and sprinkles) over the descending mode data set, that could impact on the results of this study is analyzed.
- Combined analysis within a GIS with other source of data: exiting maps and databases (soil maps, land use stratification areas, flood risk maps and ground data) to assess which agricultural landscape indicators are suitable or better defined by RADARSAT data to improve the generation of land use maps.
- A multitemporal classification using pixel based approaches for assessing how radar data can complement optical images to allow a better crop discrimination during the growing season and consequently to produce better statistics or eventually to replace optical imagery by SAR when the cloud cover scores are high. Only in some classes the results are very disappointing, but taking into account the large number of crops these are encouraging results. The principal results of these studies are still in discussion, with a view to identifying the extent to which distinctive temporal signatures exist, and can be used as a tool for crop discrimination.
- Several merges between optical and radar data are going to be generated. Different methodologies to create them will be evaluated through visual interpretation and automatic classification. Also the influence of the temporal distance between these two kinds of data will be study.

This study will help to generate the knowledge to integrate radar data to a number of regional and national governmental remote sensing programs.



## INTRODUCTION

In recent years the research community has show a great deal of interest in the application of microwave information. Active radar sensors, like Radarsat, may provide significant agricultural information about crops. A sistem capable of making measurement independent of day / night and cloud cover is a significant advantage.

The general objectives of this project are:

- Achieve knowledge of the relationship between Argentine Crops (south of B.A.) and their radar satellite response.
- Examine the potential of radarsat data for crop area estimation on a regional level as well as on an individual field level.

In order to achieve objectives a multitemporal set of 5 Radarsat descending mode and 2 Landsat TM are used. To fulfill these goals this study incorporates a body of research, which include the following topics and steps:

- relation between agricultural different phenological steps and backscatter measurements.
- calibration of the radarsat standard beam mode images.
- georeferenciation to Gauss-krugger projection, and image to image registration of all the data set.
- different classification and segmentation techniques to crop identification using temporal backscatter profiles.
- strategies of data fusion of Landsat and Radarsat images for land use and crop identification, using close and far dates in the same growing season.
- A multitemporal classification using pixel based approaches for assessing how radar data can complement optical images to allow a better crop discrimination during the growing season and consequently to produce better statistics or eventually to replace optical imagery by SAR when the cloud cover scores are high. The principal results of these studies are still in discussion, with a view to identifying the extent to which distinctive temporal signatures exist, and can be used as a tool for crop discrimination.

The following map indicate the area of interet of this Globesar project.



Crop inventory in this area and in Argentina in general presents a lot of difficulties because of the extremely complex mix of land uses, land covers and different field sizes. The area under study presents one principal winter crop: wheat and four summer crops: corn, sunflower, soybean and potato. Pastures alternate each year during the agriculture rotation. (Figure 1)

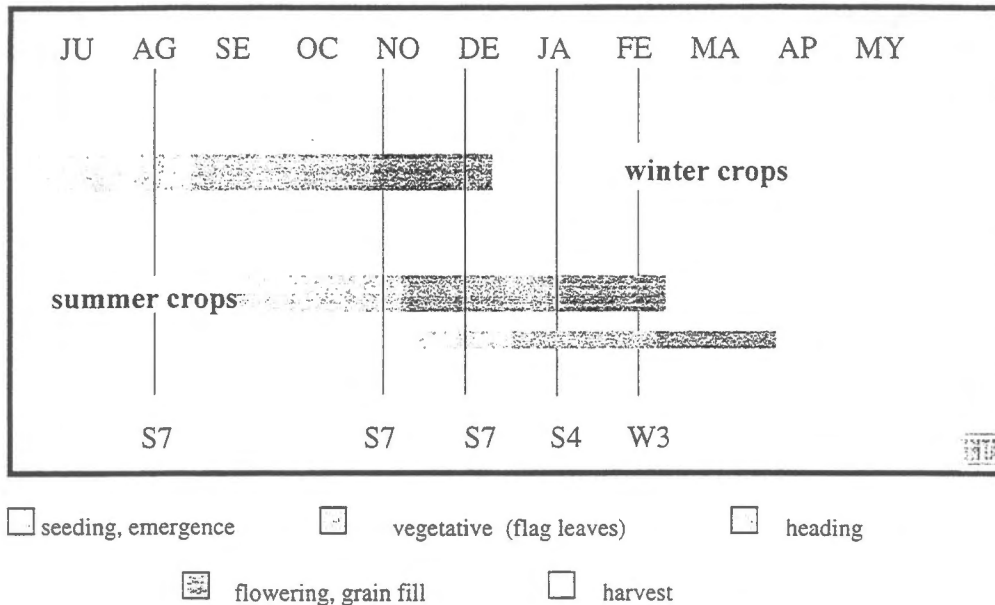


Figure 1. Development stages of the main crops and satellite data acquisitions during agricultural cycle

The three items to be discussed in this -part 1- of the project are:

1. Environmental effects on radar data of the study area.
2. Operational Procedure and preprocessing steps.
3. Temporal changes in the radar backscatter of the main crops of the area.

### 1. Environmental effects on radar data of the study area

The capability of satellite radar to provide reliable and frequent imaging, independently of cloud coverage, is a key factor in the context of agricultural applications.

However, there exist other influences on radar signatures which have been observed in the experimental datasets acquired by this project – all of them descending mode - and which may impact on the ability to discriminate different crops.

These effects are associated with meteorological events. Both rain and dew increase the radar backscatter of agricultural targets.

In this study site rains (sprinkles, less than 10 mm) and dew, are very frequent events to be taken into account.

The December 01, 1997 is a good example of these phenomena, because a rainfall (sprinkle approx. + 2 mm) was reported in some places just prior to image acquisition (the prior night). The spatial distribution of this event along the scene (figure ) was very heterogeneous. In this case alternate light and dark zoning is seen along the image from south to northeast.

After comparing this image with the soil map and the land use map of this area we realize that there is no correlation between them and the unusual pattern observed.

Unfortunately in Argentina there is no ground radar to monitor this meteorological event. One hour later AVHRR image from NOAA satellite receiving station at INTA, shows the direction of clouds formations that the area under study the previous day and night.

Figure 3 shows the magnitude increase in the backscatter of plots with wheat at the same growing stage and within the same soil type for the two regions called the "dark area" and the "light area" of the scene

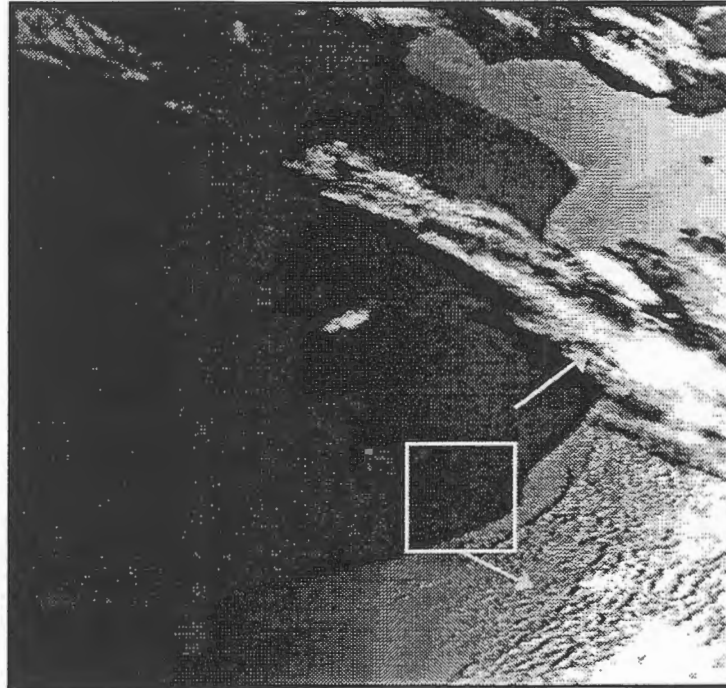


Figure 2. NOAA – HRPT 07.50 am - December 1, 1997 .

In figure 2 the white box indicate the coverage area of the radarsat acquisition and shows the movement of the clouds that precipitated over the area.

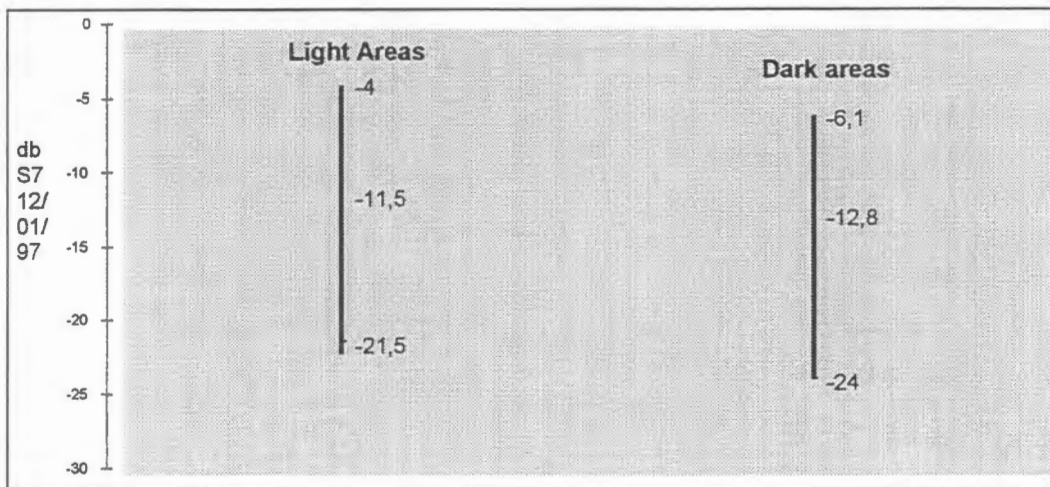


Figure 3. Example of different backscatter coefficient for wheat (at similar growing stage) within the different areas.

In general dew have an effect similar to rainfall on the radar backscatter from crop canopies, increasing the  $\sigma^{\circ}$  from crop field following a dew event. We also observed that dew event during humid springs (radarsat acquisition S7 of November 07) could reduce the dynamic range of the scene.

This influence tends to decrease overall crop discrimination in a large area classification procedure. However our preliminary studies classifying separately the bright and the dark areas, shows a better crops and pasture separability within the brighter zone.

## 2. Operational Procedure and preprocessing steps.

The objectives of this project involve the use of a temporal set of Radarsat scenes. To fulfill the calibration requirements the operational procedure followed for the calibration, filtered and geometric corrections for the different outputs is showed in figure 4.

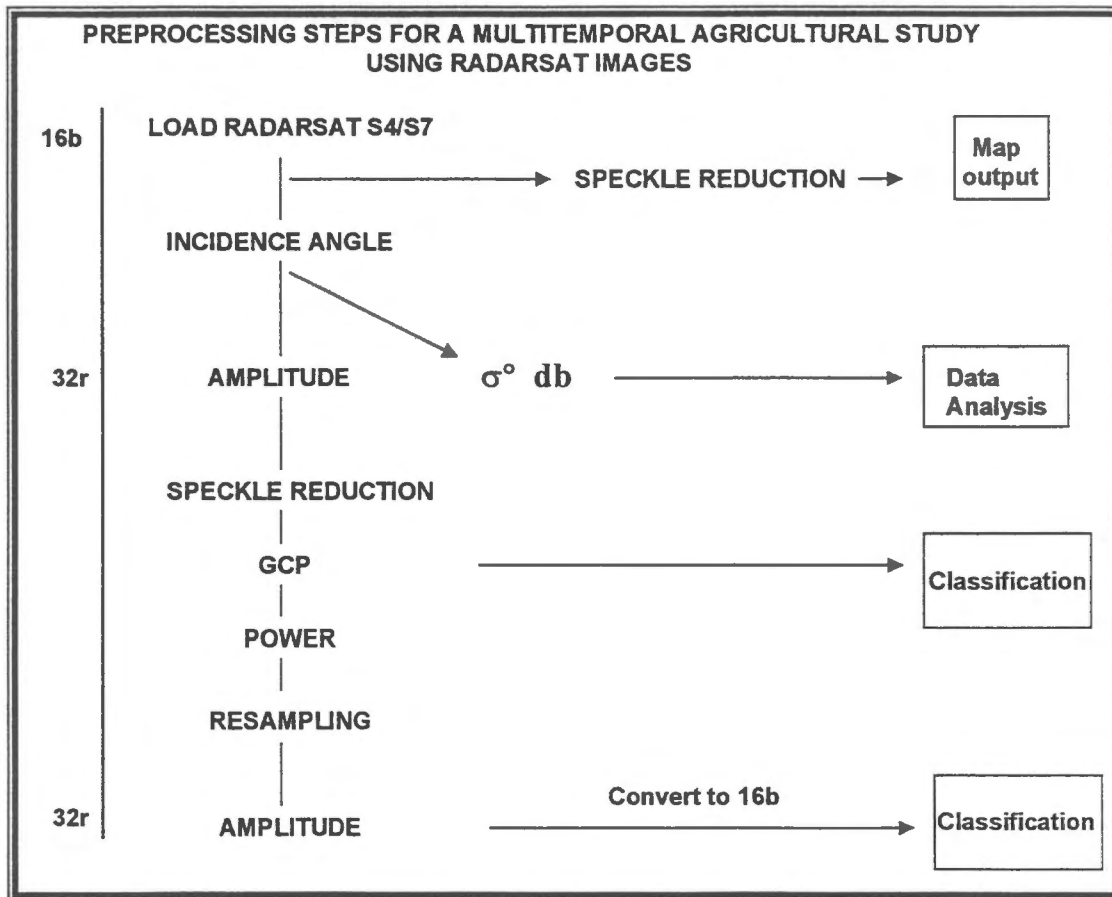


Figure 4.

### 3. Agricultural crop characterization using Radarsat data

A basic understanding of the interaction of microwave energy and natural targets is necessary to the proper application of radar imagery. This item is related the Radar backscatter properties (Radarsat C- band) of the main crops of the area, from early crop establishment through to maturity and harvest.

Also the analysis of changes in crop backscatter temporal profiles in relation to agronomic variable and soils type in the same agricultural area are going to be an important part of this study.

Some of the principal results of this analysis are reviewed, with a view to identifying the extent which distinctive temporal signatures exist, and can be used as a tool for crop discrimination.

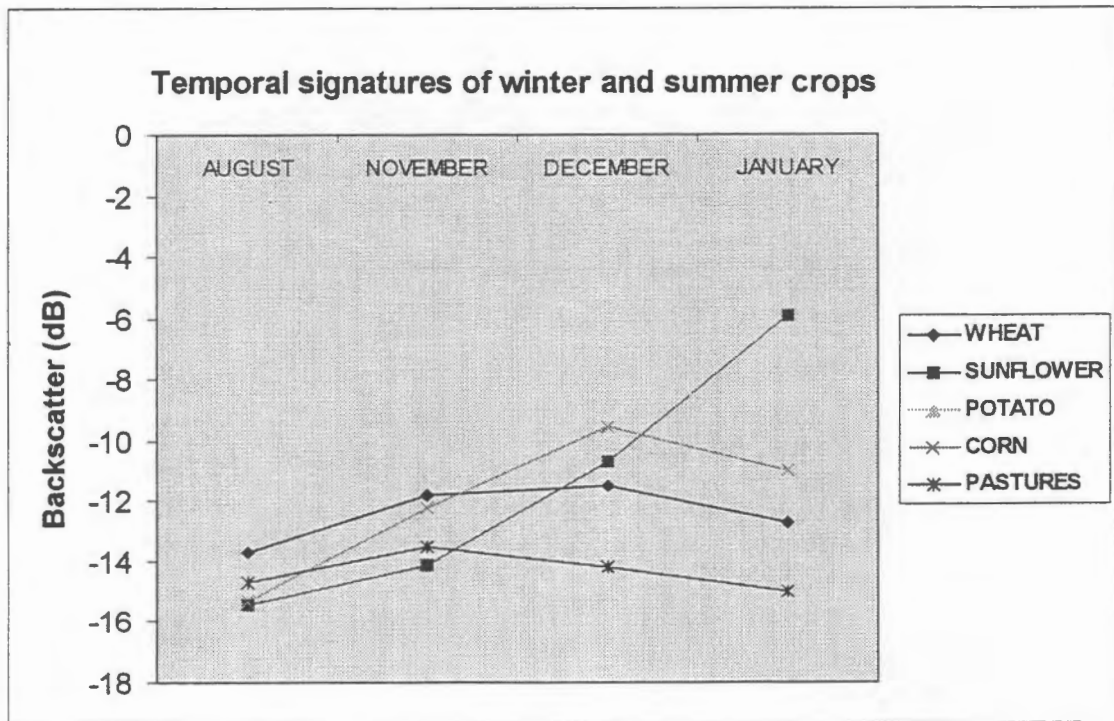
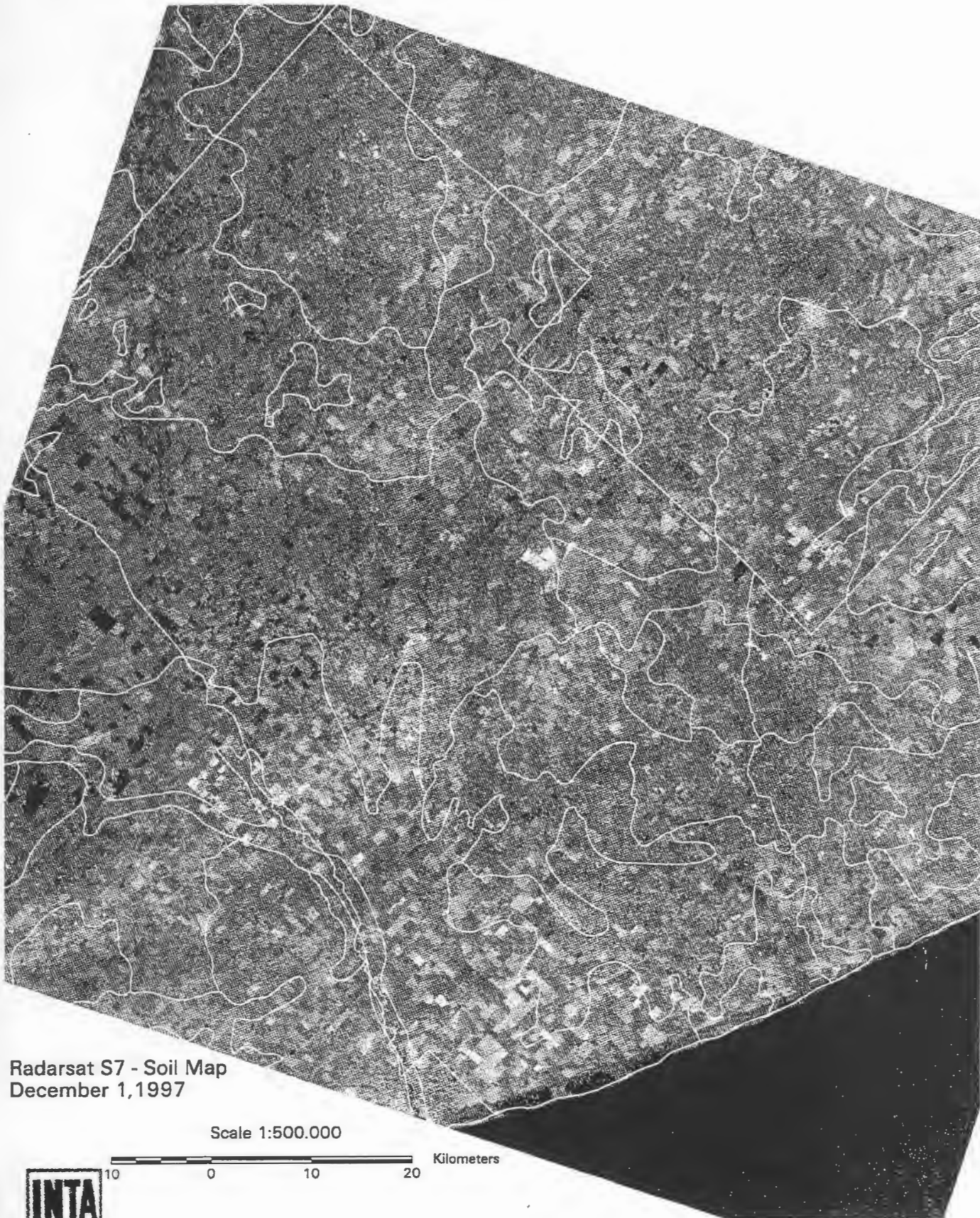


Figure 5.





Radarsat S7 - Soil Map  
December 1, 1997

Scale 1:500.000

10 0 10 20 Kilometers





**SYSTEMATICAL CARTOGRAPHY OF THE NATIONAL  
TERRITORY OF 1:250.000 SCALE  
CORDILLERA PATAGONICO-FUEGUINA  
Proyecto Argentina-1**

**Graciela Marín, Diego Azcurra and Alejandra G. Tejedo**

Geological and Mining Survey of Argentina-SEGEMAR

Av. Julio A. Roca 651, Buenos Aires, Argentina

Tel: 541-349 3156/3162 Fax: 541-349 3119/3160

Email: gmarin@secind.mecon.ar

**ABSTRACT**

This paper describes one of the GlobeSAR Project, in a selected area of Patagonian Cordillera, SW of Argentina, applying integrated remote sensing data, which objective is the identification of the lithological units as well as geomorphological and structural features, to reach an important degree of precision in the 1:250000 scale geological mapping. Main objective is to analyze the capabilities of radar imagery and its utilization together with optical images, geophysics data and field work, to confirm or enhance the geological interpretation in order to extend and apply the radar data to all the project region, characterized by a dense vegetation.

**Introduction**

The Instituto de Geología y Recursos Minerales -IGRM- of the Geological and Mining Survey of Argentina (SEGEMAR) is responsible of the National Program of Geological and Thematic Map of the country to different scales.

Within the framework of this program, the basic and systematical geological cartography to scale of 1:250000 is being performed using topographic maps of the Military Geographical Institute (IGM).

The mountainous areas of the country, including the Patagonian region is planned to be finished in the next three years, in order to compliment other IGRM projects, mainly those related with the evaluation of mining resources. These region is covered by 120 map sheets, that means 50% of the territory.

In the south Andean Cordillera, between S40° and S55°, the existing rain forest coverage and the roughness of the area hamper recognition of geological units. Due to these difficulties the remote sensors data such as airborne geophysics (magnetometry, radiometry), optical and radar satellite imagery are required.

Radar imagery is a power tool for geologic applications (Singhroy et al., 1993), particularly to use in tropical environments (Decker and Nazarenko, 1994), with dense vegetation. Radar can not penetrate the forest canopy, but the different incidence angles will allow the enhancement of subtle structural features, which together with textural and morphological patterns will highlight the discrimination of lithological units.

## **Selected study area**

The area to start the studies is in the west part of Rio Negro Province, into the 1:250.000 scale 4172-IV Bariloche Sheet, located between latitude S 41° and 42°, longitude W 70°30' and 72°. The area to be studied is around 12.000 square kilometers.

The climate is moderate to cold in general, with average temperatures oscillating between 2°C/4°C in July to 14°C/18°C in January. Dominant winds from the western Pacific are responsible for a rain average over 2.000 mm a year. This environment is related to the dense vegetation development, known as the Austral Template Forest, which grows up to 2.000 m altitude. It is characterized by a stratified growth of different species associations of Nothofagus and Coniferous, hiding the scarce outcrops, (Cuello and Antes, 1995).

Morphologically, the area presents two segments: western one is just the Andean Cordillera, characterized by a rough landscape of 2.000-2.500 m altitude hills and glacial lakes. The eastern segment is smoother, with low hills and basins, in transition to the North Patagonian Plateau, and without vegetation.

## **Geologic framework**

The oldest rocks, Cushamen Formation (Volkheimer, 1964), are outcrops southern Nahuel Huapi Lake, through the central west sector to El Bolson site. This Precambrian age unit includes metamorphic and granitic rocks, which are intruded by Eopaleozoic age granitoids.

In the western sector, the higher Cordillera up to Chile limit, Jurassic age marine sedimentary rocks of Piltriquitron Formation (Gonzalez Bonorino 1944, 1973) and Jurassic-Cretaceous age volcanic rocks of Huemul Formation (Gonzalez Bonorino, 1974) are intruded by Cretaceous granodiorite of Los Machis Formation (Gonzalez Díaz and Nullo, 1980) and upper cretaceous and tertiary granitoides of Cordillera.

Eocene age volcanic rocks of the Ventana Formation (Gonzalez Bonorino, 1973) lies unconformably over the oldest rocks and are wide spread in the central and northeast area. This 4000m thick unit includes andesite, basalts and riodacite, tuffs and psammites.

On the eastern, belonging to the Ñirihuau-Ñorquinco-Cushamen Basin, tertiary sedimentary units are exposed (Collon Cura, La Pava and David Formations, Cazau, 1980).

Late tertiary basalts are present in the west (Tronador Formation) and in the east (Chenqueniyeu Formation). During Quaternary, different agradation levels were developed to the east, and glacial deposits in the west and central sector.

Correlated with the compressional deformation supported by the region during the Tertiary, mainly N-S inverse faults affect the west sector and folding structures were developed to the east.

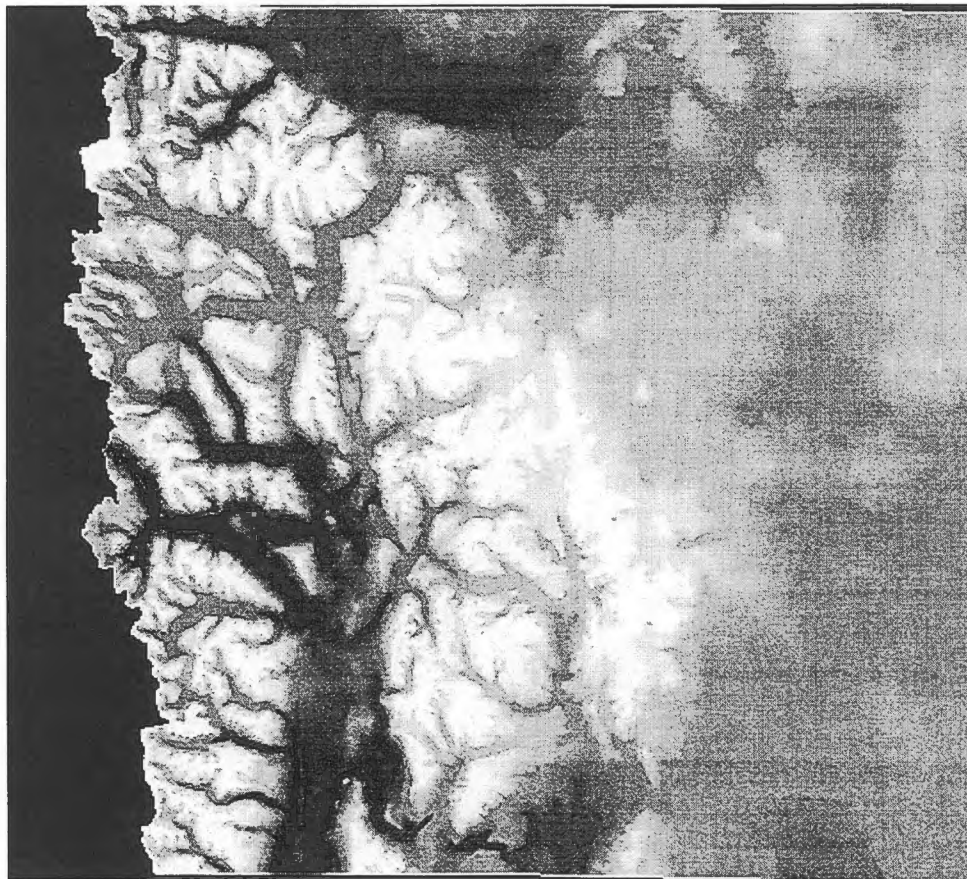
Geomorphologically, the region belongs to cordillera environment, and it presents two main landscapes: one is the result of glacial and fluvial processes; the other is dominated by the structural features (González Díaz and Malagnino, 1984).

### **Methodology**

The methodology to apply merge and analyze data from optical and radar satellite imagery and aeromagnetic data in order to focus efforts on determining the best surface mapping capabilities of each one of these tools, and how they help each other to analyze the information, like a complement to confirm or enhance the geological interpretation in this region with scarce outcrops.

The Landsat TM image 232/089 from February 22, 1986 was used to delineate structural and lithological features on a regional basis. The geological units from 1:750,000 scale geological map of Rio Negro Province (1994) were tried to identify, but it was not possible at all because half of the region (western one) is covered by a dense vegetation, which restricts the usefulness of optical imagery.

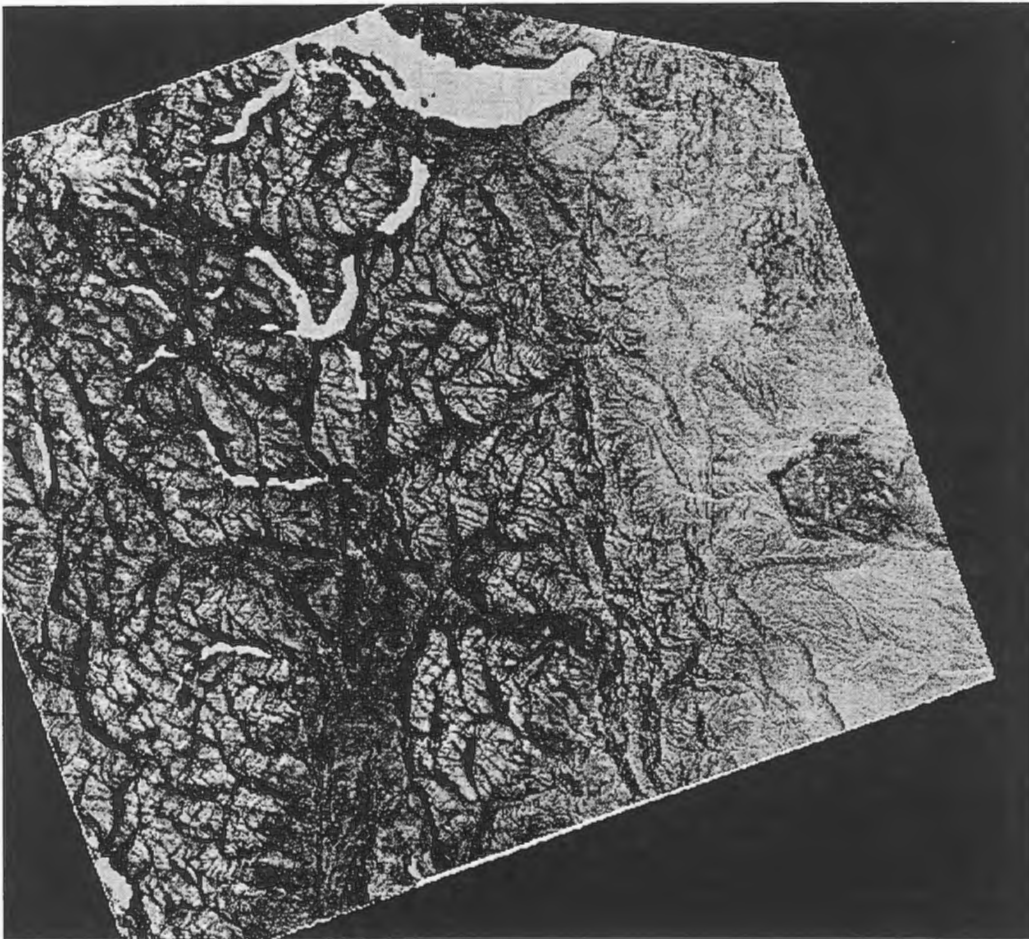
**Figure 1:** Digital elevation Model of Bariloche region.



Radarsat standard ascending imagery from March 27, 1997 was processed to highlight subtle structure and boundary units not detectable with TM image in forested regions. First steps were to calibrate the image and to eliminate speckle noise using filters (Frost et al., 1982), with the PCI software.

The digital elevation model (DEM) was created from the IGM map, using three elements: topography, hidrography and elevation points, applying VDMINT module of PCI (figure 1). After, a simulated in azimuth and rank radar image was generated using SARSIM1 module. This product made easy the control points registration to obtain the geometrically rectified to Gauss Kruger coordinates radar image, applying SARGEO module (figure 2). This last step is important because it is corrected the layover and foreshortening effects in the radar image.

**Figure 2:** Rectified radar image.



In the next step the optical image was geometrically rectified regarding radar image, and after, in order to extract more information, both images were merged using different process:

- 1) TM bands and radar combination;
- 2) IHS-RGB; TM bands 7,4,1 were processed to IHS; radar image replaced I, and this product were processed to RGB, highlighting both sensors features.
- 3) Principal Components (PC) analysis; it was generated the firsts five (5) PCs from the 7 TM bands and the radar image.

The different products revealed the terrain attributes, geomorphological features, highlighted structural information and lithologies, showing that the best product for analysis and interpretation is the integration of the SAR and TM images. The processed images were analyzed on the screen, and after they were printed on 1:500.000 and 1:250.000 scales to interpretate.

### **Analysis and Interpretation**

The western sector of the Bariloche Sheet, up to the international border shows a glacial landscape with characteristic glacial valleys, circles and lakes. Lithologically, mainly there are metamorphic rocks, granitoids and volcanic rocks.

Patagonian Cordillera has supported a rigorous weather during Pleistocene, designing the glacial relief, which features can be seen from Nahuel Huapi lake up to S 42°. The process has started with glacial valleys, but after it become cooler and the glaciers grew up to became a high mountain ice mantle (Flint and Fidalgo, 1963, 1969). To eastern, ice went down through previous important fluvial valleys. In this region the most important was Nahuel Huapi-Mascardi glacier (González Díaz and Malagnino, 1984). Simple ice mountain can be seen in the higher ones and Tronador mountain is the most important.

The central sector is characterized by longitudinal structures NNW-SSE, showing homoclinal crest relief because of folding structure. This sector shows two different lithologies: on the east, the image texture is more close and detailed because of the Ñirihuau Formation characteristics (wackes, tuffs and ignimbrites).

To the west the structure are softer in extension as well as inclination and this feature is supported by volcanic mantles of the Ventana Formation (González Díaz and Malagnino, 1984). These volcanic rocks occurrence is also present to eastern Nahuel Huapi Lake, and to southern of the region. In both cases the image texture is quite to different that Central sector.

In spite of central volcanic rocks are homoclinal crests and longitudinal structure is the dominante relief, the others occurrences present local irregular, smaller texture, may be due to slumps.

In the east, agradation levels are present, with different density drainages according to the lithological and structural basament (González Díaz and Malagnino, 1984).

In the central east sector, a small typical plateau is developed with characteristic basaltic texture (lagoons and piroclastic cones).

## Results

The objective of this project is to analyze the capabilities of radar imagery and its utilization in conjunction with optical images and geophysical data to confirm or enhance the geological interpretation in order to extend and apply the radar data to the project region, characterized by a dense vegetation. So the preliminary results of radar data application are:

- SAR images and TM images and TM-SAR merge data analysis allowed to identify and characterize different geological unit, structure and glacial geomorphology in the eastern sector as well as in the mountainous sector with a dense vegetation of *Notophagus* and *Coniferous*.
- Metamorphic rocks, granitoids and volcanic rocks occurrences were identified on the west up to the Chile border. On it, Tronador Mount is covered by the biggest ice mantle of the region.
- Volcanic rocks of Ventana Formation were recognized in the central area, from Nahuel Huapi lake to southern up to El Bolson town, like homoclinal crest with a little inclination. Eastern, Ventana Formacion outcrops to east of Nahuel Huapi lake and in the southeast sector, were also recognized, but they were characterized by slumps.
- Collon Cura Formation and other Tertiary units are eastern developed, showing a typical drainage.
- Finally, Chenqueniyeu Basalts were recognized on the east of the scene.
- The geological structure was highlighted from the merged images, however some of the features must be corroborate.

From these results, it is planned next objectives:

- 1) To analyze images on 1:100.000 scale and 1:50.000 if it should be necessary to finish the interpretation.
- 2) To process images, to extract more geological information.
- 3) To corroborate some features in the field.
- 4) Combine with other digital data such as geophysics to identify new mining targets comparing the behavior of polymetallic occurrences (Ag-Pb-Zn) in the Eocene Andesitic Ventana Formation, taking advantage of the data will be acquired.
- 5) To introduce the same methodology in the Cordillera Fueguina, where the geological trends are E-W.

## References

- Cazau, L.B., 1980. Cuenca de Ñirihuau-Ñorquinco-Cushman. Geol. Reg. Arg. (v.2): 1149-1171, Buenos Aires.
- Cuello, A. and M. Antes, 1995. Cartografía del bosque nativo del área cordillerana de la provincia de Río Negro. VII Simp. Latinoam. Percp. Rem., Puerto Vallarta.



- Dekker, F. and D, Nazarenko, 1994. Radar offers many unique benefits as an exploration tool in tropical environment. *Earth Observation Magazine*, May:26-29.
- Flint R.F. y F. Fidalgo, 1963. Geología glacial de la zona de borde entre los paralelos de 39° 10' y 41° 20' de latitud sur en la Cordillera de los Andes, República Argentina. Dir. Nac. Geol. Min., Boletín 93, Buenos Aires.
- Flint R.F. y F. Fidalgo, 1969. Drift glacial al este de los Andes entre Bariloche y Esquel. Inst. Nac. Geol. Min., Boletín 119, Buenos Aires.
- Frost, V.S., J.A. Stilles, K.S. Shanmugau and J.C. Holtzman, 1982. A model for radar images and its application to adaptative digital filtering to multiplicative noise. *IEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, PAMI-4.
- González Bonorino, F., 1944. Descripción Geológica de la Hoja 41b, Río Foyel (provincia de Río Negro). Dir. Min. Geol. e Hidrol. Bol. 56, Buenos Aires.
- González Bonorino, F., 1973. Geología del área entre San Carlos de Bariloche y Llao Llao, provincia de Río Negro. *Fund. Bariloche, Publ. 16*, Bariloche.
- González Bonorino, F., 1974. La Formación Millaqueo y la Serie Porfírica de Cordillera Nordpatagónica. *Nota Prelim. Asoc. Geol. Arg., Rev. 29(2):145-153*, Buenos Aires.
- González Díaz, F. E. y E. Malagnino, 1984. Geomorfología de la provincia de Río Negro. IX Cong. Geol. Arg., Buenos Aires.
- González Díaz, E. F. and F. Nullo, 1980. Cordillera Neuquina. *Geol. Reg. Arg. (v.2):1099-1147*, Buenos Aires.
- Sabins Jr., F, 1987. *Remote Sensing: Principle and Interpretation*. W. H. Freeman and Co., New York.
- Singhroy, V., R. Slaney, P. Lowmon, J. Harris and W. Moon, 1993. RADARSAT and Radar Geology in Canada. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 19-4:338-351, Ottawa.
- Volkheimer, W., 1964. Estratigrafía de la zona extraandina del Departamento Cushamen (Chubut), entre los paralelos 42° y 42°30' y los meridianos 70° y 71°. *Asoc. Geol. Arg., Rev. 19(2):85-107*, Buenos Aires.
- Mapa Geológico de la Provincia de Río Negro, 1994. Dir. Nac. Ser. Geol., Buenos Aires.

# UTILIZACION DE LAS IMÁGENES DE RADARSAT EN LA CARTOGRAFIA GEOLOGICA Y EXPLORACION DE LOS RECURSOS NATURALES EN LA SERRANIA DEL DARIEN Y BAJO ATRATO . COLOMBIA

Alberto Cristancho – Domingo Mendivelso  
Instituto Geográfico Agustín Codazzi- Santafe de Bogotá  
Carrera 30 48-51 - Fax 3680998

## RESUMEN

En desarrollo del Proyecto GLOBESAR 2 se ha llevado a cabo una interpretación geológica de cuatro imágenes del Sistema RADARSAT , que cubren parte de la Serranía del Darién y el Bajo Atrato, áreas localizadas en el extremo Noroccidental de Colombia y Suramérica.

El objetivo principal ha sido evaluar la utilidad y ventajas de cuatro imágenes RADARSAT para la interpretación geológica .

La metodología consistió en el análisis e interpretación temática utilizando imágenes impresas en papel , y del examen directo de imágenes digitales las cuales fueron optimizadas mediante aplicación de diversas técnicas de procesamiento digital .

La región investigada se localiza en la frontera Colombo-Panameña , en el extremo Noroccidental de Colombia en una región geológicamente compleja debido a que geotectónicamente está ubicada en la zona de interacción de las Placas Tectónicas de Nazca, de Suramérica y del Caribe . En la región predominan los sedimentos de origen Terciario, rocas ígneas de origen intrusivo y extrusivo y depósitos de origen reciente asociados a la actividad fluvial, fluviomarina y marina.

Las imágenes de RADARSAT examinadas han permitido detectar e interpretar importantes lineamientos asociados a fallas geológicas y diaclasas, así como un patrón sistemático de pliegues Terciarios . Gran parte de los lineamientos tectónicos detectados son nuevos rasgos interpretados mejorando así la cartografía geológico tectónica del área y por consiguiente el conocimiento tectónico local y de correlación en el contexto regional. Las imágenes utilizadas del modo standard con apoyo de imágenes del modo fino se evalúan como muy útiles para extracción de información geológica importante..

Como conclusiones finales se destaca una gran ventaja de las detecciones e interpretaciones de rasgos temáticos utilizando registros standard y finos de las imágenes RADARSAT , la utilidad de la visión estereoscópica, la optimización de las imágenes haciendo uso del tratamiento digital de las mismas y la extracción de nueva información temática valiosa que ha permitido mejorar el conocimiento geológico del área .

## **OBJETIVO**

El objetivo principal ha sido el de evaluar imágenes del Sistema RADARSAT con el propósito de extraer información geológica y realizar una interpretación en una región piloto localizada en el Noroccidente de Colombia.

## **LOCALIZACION Y AREA DE ESTUDIO**

El área piloto de investigación se localiza en el extremo Noroccidental de Colombia en la frontera Colombo-Panamena ( Figura 1 ), forma parte de los Departamentos del Choco y Antioquia , y cubre una extensión aproximada de 10000 kilómetros cuadrados.

Geográficamente se distinguen en la zona la Serranía del Darién en la parte occidental, la Depresión del Río Atrato en el sector central y la Serranía de Abibe hacia el oriente ,en una región que circunda el Golfo de Urabá , en el Mar Caribe. El sistema hidrográfico esta compuesto principalmente por los ríos Atrato y León , y en el sistema de tributarios sobresalen los ríos Chigorodó, Carepa, Apartadó, Guapa, Jurado, Chado, , Chomptos, Currulao, Guadualito, Turbo, Río Sucio, Tamarandó, Domingodo, Truandó y Salaqui .

## **METODOLOGIA**

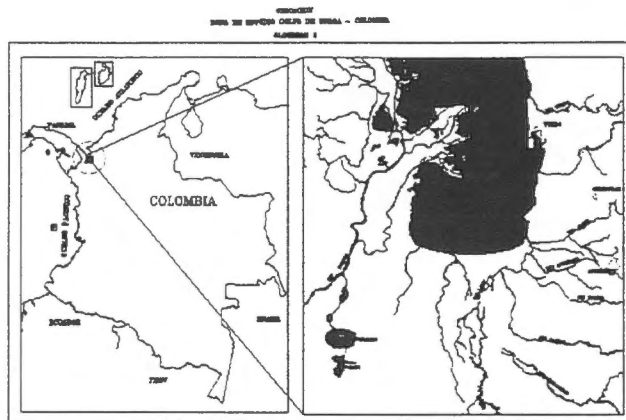
La metodología de trabajo ha consistido en examinar e interpretar las imágenes Radarsat en formatos impresos a escala 1: 100.000 , formatos digitales corregidos y realizados digitalmente , y exámen estereoscópico de algunas áreas parciales de cubrimiento común. La corrección de las imágenes consistió en la georreferenciación y la reducción de speckle. Se derivaron imágenes optimizadas tratando de realzar rasgos geológicos de litologías y de lineamientos de significado tectónico. Esencialmente se aplicaron filtros para el realce de bordes generales y direccionales, y contraste general para diferenciación de litologías aplicando técnicas de expansión y eualización de histogramas sobre cada imagen. Se experimentó finalmente el sinergismo con una imagen Landsat-TM con resultados limitados debido al extenso cubrimiento de nubes de la misma. La interpretación temática fue apoyada mediante consulta de información disponible.

## **MATERIALES**

Se ha dispuesto de cuatro imágenes RADARSAT con las siguientes referencias:

Imagen de modo standard	S1	de Abril	8 de 1997
Imagen de modo standard	S7	de Abril	28 de 1997
Imagen de modo fino	F2	de Mayo	22 de 1997
Imagen de modo fino	F5	de Mayo	5 de 1997

El procesamiento digital de las imágenes se ha realizado utilizando los programas PCI y ERDAS trabajando en una estación de trabajo Sílicon Graphics. En la Figura 2 se ilustra la imagen RADARSAT de modo S1 utilizada en la investigación.



**Figura 1. Mapa de localización**

## **INTERPRETACION GEOLOGICA**

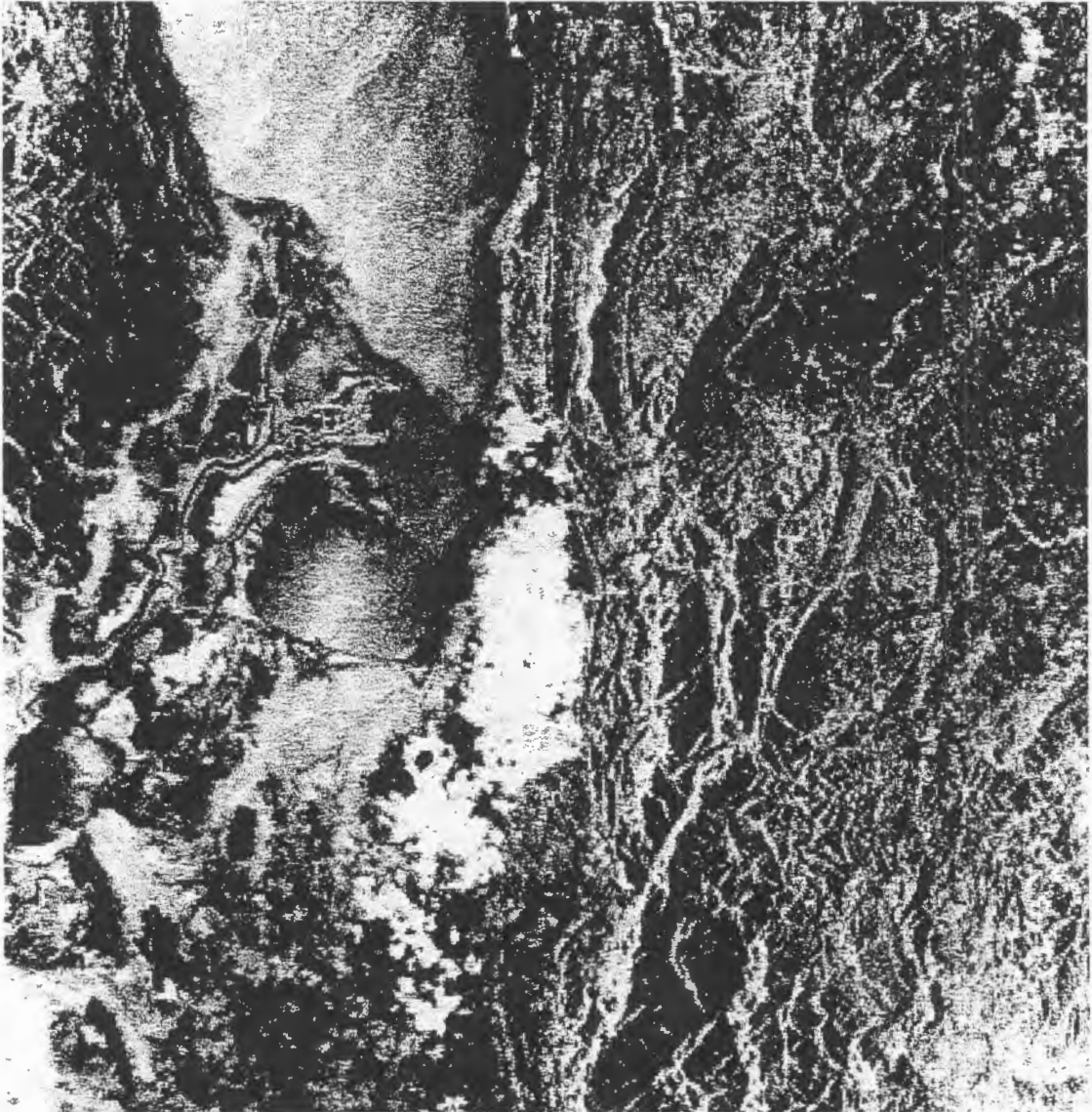
### **Ambiente regional**

El área investigada se ubica en el extremo Noroccidental de Colombia y Suramérica donde tiene lugar la convergencia de las placas tectónicas de Nazca, Suramérica y del Caribe . A su vez en medio de estas se identifican los denominados Bloque de Panamá y Bloque Andino . La interacción compleja de estas unidades geotectónicas ha originado en el último tiempo geológico - de cinco millones de años hasta el reciente, el actual sistema tridente de los Andes Colombianos y el actual paisaje de relieve superficial detectable mediante de las imágenes de satélite.

### **Unidades morfoestructurales**

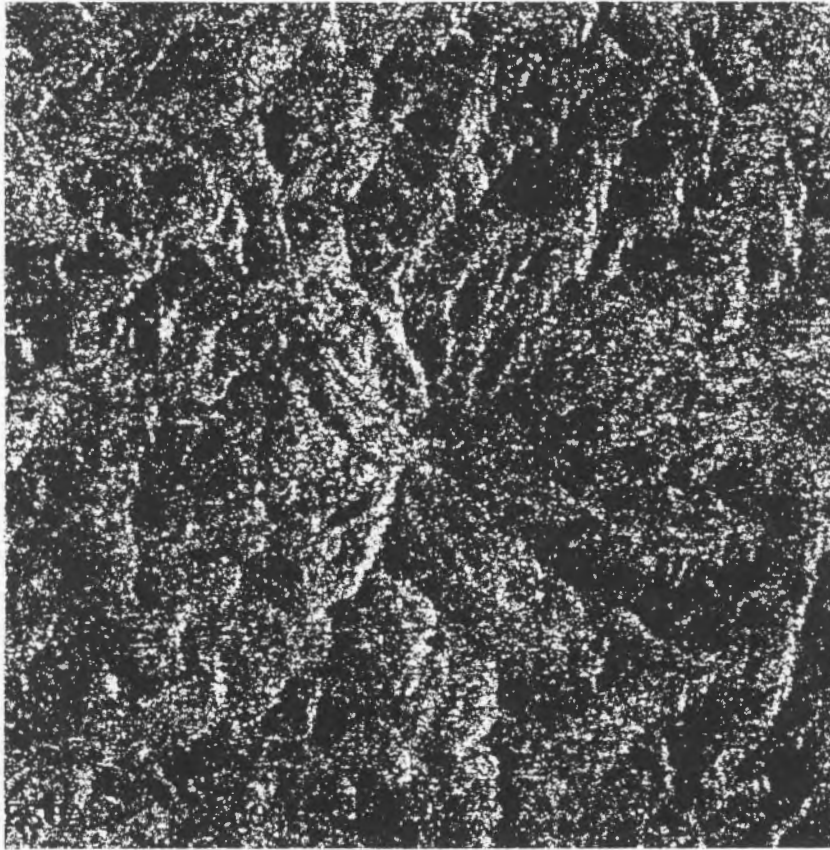
En las imágenes examinadas se pueden diferenciar tres unidades morfoestructurales principales que hemos denominado Bloque Colombo-Panameño, Depresión del río Atrato, y Cinturón de Pliegues Terciarios .

El Bloque Colombo-panameño se caracteriza por una topografía montañosa con una red de tributarios vertiendo sus aguas de occidente a oriente sobre el río Atrato. Litológicamente predominan, una unidad de rocas basálticas con intercalaciones sedimentarias, unidad de rocas intrusivas tipo monzodioritas, monzonitas , sienitas y gabros; y una unidad de calizas con intercalaciones de lodolitas calcáreas y chert. La diferenciación de unidades se basa en las características de contrastes de tono, textura y patrones de drenaje asociado, bien definidas en las imágenes radarsat.



**Figura 2 Imagen RADARSAT – REGISTRO S1 – Serranía del Darién y Depresión del Río Atrato**

En el área central se destaca una zona llana y cenagosa correspondiente a la unidad denominada Depresión del Río Atrato. Esta unidad presenta hacia su parte oriental drenajes dirigidos hacia el occidente sobre el río León, evidenciando así una suave pendiente en este sentido. La depresión contiene depósitos de marea, depósitos fluvio-marinos



**Figura 3. Detalle de un volcán de lodo detectado al Noreste de Turbo observando la imagen RADARSAT S1 con realce de contraste.**

#### **Unidades estratigráficas**

Mediante el análisis de parámetros básicos de tono, textura, patrones de drenaje y geoformas se han diferenciado las siguientes unidades estratigráficas : Unidad de rocas volcánicas principalmente basaltos ( Cretáceo); Unidad de monzodioritas y monzonitas ( Terciario – Paleoceno) ; Unidad de calizas (Terciario –Paleoceno) ; Unidad de rocas ígneas sin diferenciar, posiblemente dioritas (Terciario – Paleoceno) ; Unidad de calizas, lodolitas y chert ( Terciario –Paleoceno) ; Unidad de areniscas, arcillolitas, lodolitas y evaporitas ( Terciario – Neoceno) ; Unidad de areniscas , arcillolitas y conglomerados ( Terciario – Neoceno) ; Unidad de depósitos recientes aluviales ( Cuaternario ) ; Unidad de depósitos de marea ( Cuaternario) , y Unidad de depósitos fluviomarinos (Cuaternario). Datos cronoestratigráficos se han consultado de INGEOMINAS ( 1997). En la Figura 4 se presenta el Mapa Geológico resultado de la interpretación de las imágenes.

#### **Rasgos estructurales**

Los rasgos estructurales principales han sido observados e interpretados especialmente en las imágenes de modo standard S1 y S7 en las cuales la vista sinóptica permite delinear mejor características de plegamiento y de lineamientos tectónicos. Se optimizaron las imágenes para detección de rasgos lineares mediante la aplicación de filtros direccionales.



En el sector oriental del área son destacados una serie de pliegues sinclinales y anticlinales en sedimentos Terciarios , cuyos ejes poseén una tendencia general Norte a Noreste. Algunos ejes también se detectan con tendencia Noroeste.

Se han detectado importantes lineamientos con significado geológico los cuales se interpretan esencialmente como fallas geológicas y diaclasas. Se destacan la Falla del Río Sinú, la Falla de Carepa, la Falla de Turbo y la Falla Necoclí. Es evidente el predominio de una tendencia de fallas según Suroeste-Noreste y según la dirección Sureste-Noroeste. Las fallas conforman un patrón de bloques tectónicos dentro de los cuales se sitúan los pliegues los cuales presentan perturbaciones producidas posiblemente al final de la Orogenia Andina, evento que definió el paisaje actual de los Andes Colombianos.

Gran parte de los lineamientos interpretados son rasgos nuevos detectados a partir de las imágenes de RADARSAT. Evidentemente las imágenes de éste sistema son muy ventajosas para la detección de lineamientos , particularmente conjugando las posibilidades de los tipos de registro standard y fino.

#### **Volcanes de lodo**

En el Noroccidente de Colombia en regiones ocupadas por sedimentos Terciarios y perturbadas tectónicamente como el área investigada se presentan con frecuencia volcanes de lodo de naturaleza efusiva y asociados a zonas de fallas, particularmente intersección de éstas. A pesar de su pequeño tamaño ha sido posible su detección en la imagen Radarsat S1 , única imagen que cubre el área donde aparecen tales geoformas.

( Ver Figura 3 ).

#### **Imágenes v.s Información geológica**

Se realizó una comparación del potencial de las imágenes en sus diversos registros con respecto a las ventajas para la detección de litologías, pliegues, y lineamientos tectónicos, que se sintetiza en el Cuadro 1.

<b>CUADRO 1.</b>	<b>LITOLOGIA</b>	<b>PLIEGUES</b>	<b>LINEAMIENTOS</b>
IMAGEN S1	ALTO	ALTO	ALTO
IMAGEN S7	MODERADO	MODERADO	MODERADO
IMAGEN F2	ALTO	ALTO	MODERADO
IMAGEN F5	ALTO	ALTO	MODERADO

#### **Resultados**

Como resultado del trabajo se produjeron interpretaciones de cada una de las imágenes cuya síntesis se presenta en el Mapa Geológico de la Figura 4. La cartografía de rasgos tectónicos particularmente ha sido mejor conocida de tal forma que se visualiza un nuevo esquema geológico tectónico del área investigada. Por otro lado , se evalúa

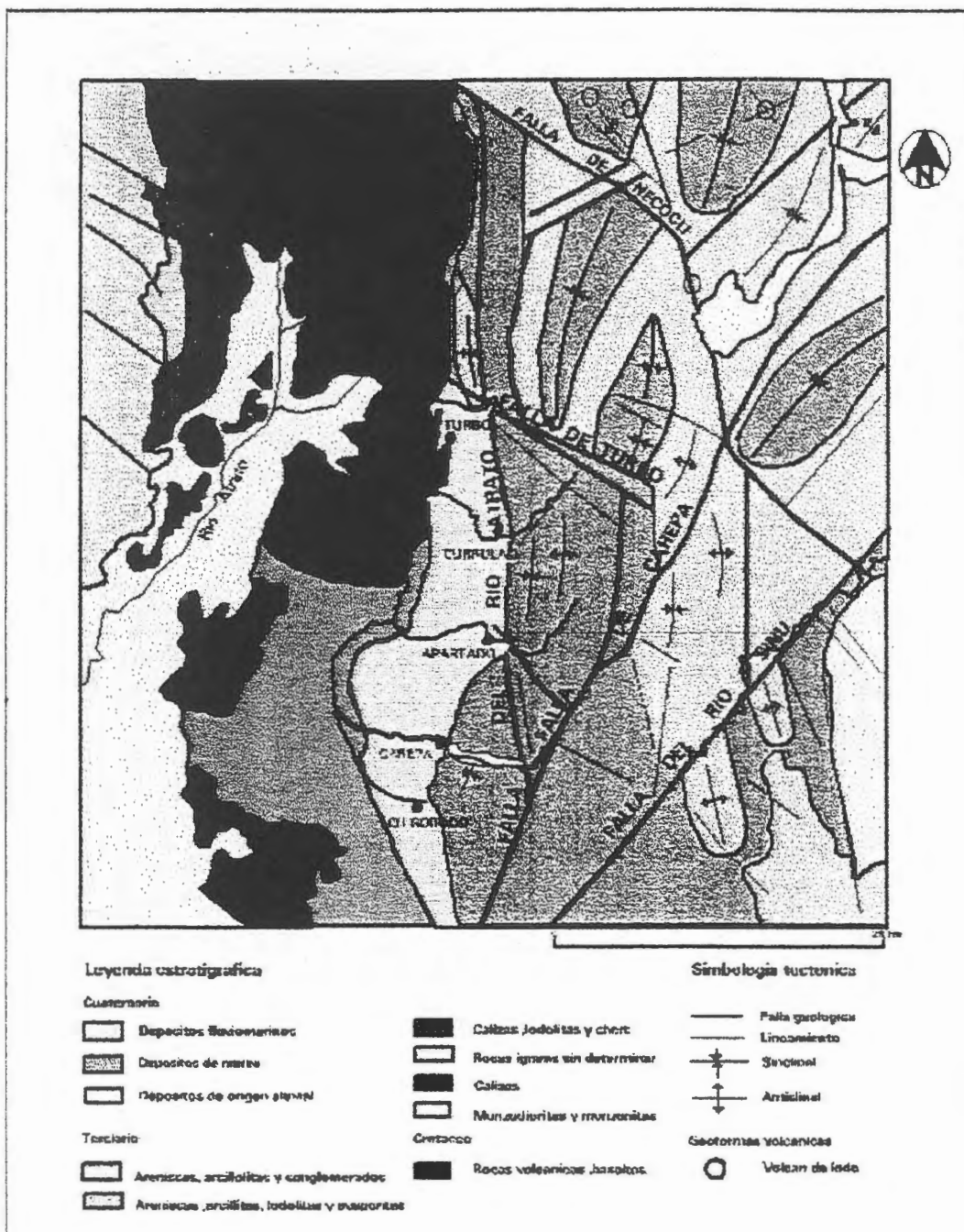


Figura 4. Mapa Geológico del área de la Serranía del Darién y Depresión del Río Atrato interpretado a partir de imágenes de Radarsat

positivamente la aplicación de las imágenes Radarsat , habiéndose realizado un examen individual tanto digital como análogamente , generando amplias perspectivas para su aplicación en el ambiente tropical húmedo .

### **Conclusiones**

Las conclusiones generales se resumen así: a) Es evidente la aplicación positiva del registro multimodal del sistema RADARSAT para la cartografía geológica ; b) El potencial de información geológica extraída ha sido alto, particularmente en lo referente a los rasgos geológico-estructurales como pliegues y lineamientos; c) Las posibilidades de visión estereoscópica indudablemente optimizan y precisan las interpretaciones; d) El procesamiento digital de las imágenes produjo productos derivados optimizados que en grandes rasgos no aportan significativamente, pero en la detección de rasgos de escala grande como los volcanes de lodo presentes en el área ha sido muy positivo, y e) El sinergismo realizado con una imagen Landsat TM no fue posible de evaluar adecuadamente debido al gran cubrimiento de nubes de la imagen disponible.

### **Referencias**

INGEOMINAS, 1997. Atlas Geológico Digital de Colombia, plancha 5-05, escala 1 :500.000, Santafé de Bogotá.

# A COMPARISON BETWEEN SPACEBORNE RADARSAT AND AIRBORNE INTERA SAR SYSTEMS FOR IDENTIFYING LINEAMENTS IN THE AREA OF FAZENDA BRASILEIRO GOLD MINE, STATE OF BAHIA, BRAZIL

Gilberto L. S. Hernandez <sup>1</sup> & Alvaro P. Crósta <sup>2</sup>

The Vale do Rio Doce Mining Company (CVRD) has been involved in mineral exploration activities in the Rio Itapicuru Greenstone Belt (State of Bahia, Brazil) for the last two decades, as part of its gold exploration program. As a result, two deposits have been discovered, the world-class type deposit of Fazenda Brasileiro, and a smaller one, Maria Preta, together with several occurrences. Studies carried out in these deposits have established that the mineralization is associated with hydrothermal alteration processes, strongly controlled by faulting. Hydrothermal fluids responsible for carrying gold move preferentially along fault planes, making structural information of critical importance for the selection of areas with greater potential for gold mineralization.

Of particular importance for studying and locating these geological structures are lineaments extracted from remote sensors. Among these sensors, radar (SAR) systems play an important role, since they tend to enhance lineaments as a function of their imaging geometry and terrain textural attributes. For this reason, Vale do Rio Doce contracted an airborne SAR survey in 1993 with Intera (currently Intermap), using a X-band Star system. More recently, a Radarsat dataset was acquired for the same area, through a GlobeSAR-2 cooperative project between the University of Campinas, Docegeo/CVRD and the Federal University of Ouro Preto (UFOP), with the support of CCRS, CIDA and INPE (Brazilian Space Research Institute).

In this paper, we present the preliminary results of this GlobeSAR-2 project, comprising an assessment and comparison between these two SAR systems for identifying structural features in the southern portion of the Rio Itapicuru Greenstone Belt, near the Fazenda Brasileiro gold mine. The study area is located in the central region of the State of Bahia, 250 km from the capital, Salvador. The climate is semi-arid, with the rain season concentrated from May through June. Native vegetation comprises the typical shrub "caatinga" and herbaceous species, which have been locally substituted by sisal plantations in this region. The relief is intensively dissected, with rolling hills and elevations ranging between 600 m and 200 m above sea level.

The Rio Itapicuru Greenstone Belt (RIGSB) covers an area of approximately 7,500 km<sup>2</sup>, comprising an Archaean basement (gneisses, migmatites and granulites), a sequence of supracrustal units, including meta-volcanic (mafic, ultramafic and felsic) and meta-sedimentary rocks, intruded by syn- to late-tectonic granitic domes. Two tectonic events

---

<sup>1</sup> DOCEGEO/UFOP - PO Box 09, 33030-970, Santa Luzia, MG, Brazil  
(gsanches@mailexcite.com)

<sup>2</sup> IG-UNICAMP - PO Box 6152, 13081-970, Campinas, SP, Brazil (alvaro@ige.unicamp.br)

affected this region. The first, D1, is associated with thrust faults towards SE and the second, D2, is related to the emplacement of the granitic domes, with the development of sinistral wrenching faults along the border of the domes. In the northern portion of the RIGSB, only the newer wrenching structures are visible, mostly trending north-south, whereas in the southern portion structures related to both events (thrusting and wrenching) can be seen. These structures are expressed as lineaments on the remote sensing images, mostly associated with the borders of the granitic domes.

In this study, we used two Radarsat Fine Resolution (F2) images (C band, HH polarization, spatial resolution of 3.125 m, 16-bit radiometric resolution, incidence angle between 39° and 42°),

acquired in ascending and descending modes in July 24, 1997, and in August 18, 1997, respectively. We also used two STAR images (X band, HH polarization, spatial resolution of 6 m, 8-bit radiometric resolution and incidence angle between 60° and 70°), acquired in October 1993 by Intera, under contract for Docegeo/CVRD. These airborne SAR images were acquired over the same area, but with different illumination directions: looking west (flight direction from south to north) and looking north (flight direction from west to east). The four SAR images were geo-referenced in the UTM coordinate system (Zone 24 South, datum WGS84), using ground control points obtained from topographic maps.

Lineaments were extracted visually, directly from the computer screen, for all four images. However, a pre-processing step had to be followed for the Radarsat data, since the data were acquired using the finest Radarsat mode (SGX, 3.125 m pixel size). Displaying these data on a CRT screen using the original resolution causes an enhancement of the speckle noise, thus impeding the visualization of fine details such as geologic structures. To avoid this problem, Radarsat data were block-averaged to a resolution compatible with the screen, resulting on images with a pixel size of 25 meters. This process improved significantly the appearance of the two Radarsat images, allowing the extraction of lineaments and the comparison with the Intera images.

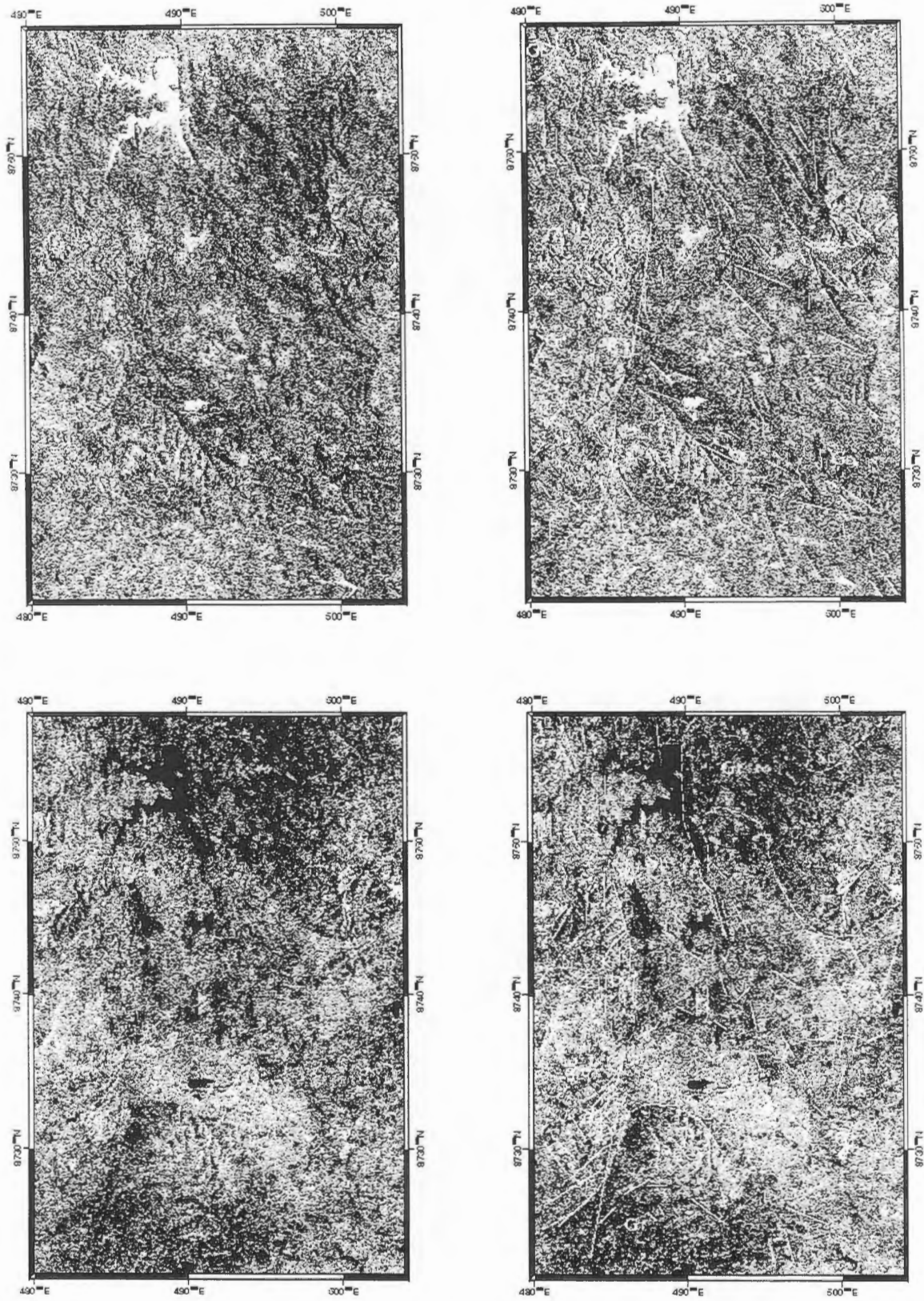
Figure 1 shows the Radarsat images, acquired in ascending and descending modes, in which a K-nearest neighbor Lee adaptive filter was applied for speckle reduction. On the right side of Figure 1, the same images are shown overlaid by the geological contacts of main units (**Gr** = granites, **Sp** = supracrustals) and the lineaments extracted from each image. The image acquired in ascending mode (top part of Figure 1) highlighted very well the NW trending lineaments and less so the NS and NE, as expected since the illumination direction of this scene is from WSW towards ENE. In comparison, the image acquired in descending mode (bottom part of Figure 1) highlighted the NS and NE trending lineaments, which are mostly orthogonal to the illumination direction of this scene (from ESE towards WNW). Overall, with these two illumination directions, most of the main structural trends were enhanced, therefore allowing the interpretation of the main lineaments, except for the east-west direction, which was not enhanced in any of the Radarsat images.

Figure 2 shows the Intera STAR images acquired in orthogonal illumination modes. The top part of Figure 2 shows the west-looking image, in which the NS trending structures were clearly highlighted. The bottom part of this figure shows the north-looking image, in which the EW trending structures were highlighted. This last image was the only one to clearly show the lineaments representing the faults controlling the gold mineralization in the Fazenda Brasileiro gold mine, which trend east-west (lower center of the image).

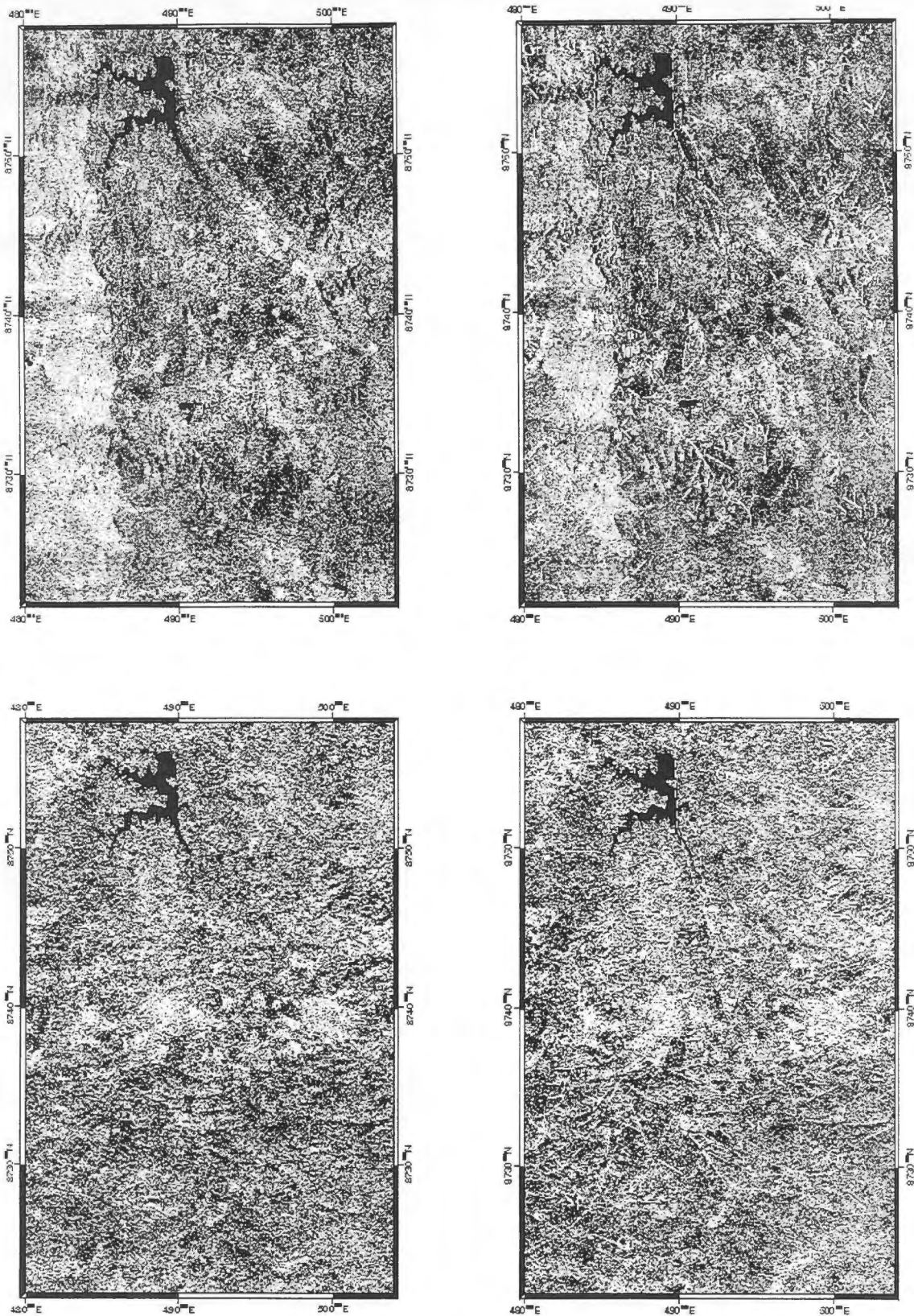
A comparison between the Radarsat and Intera images show that all of them were very useful in enhancing the lineaments in the study area, due to the fact that each one of them has a different look direction. In this sense, they also complement each other for the purpose of lineament extraction. Surprisingly, the great difference in incidence angle between Radarsat (39°- 42°) and Intera (60°- 70°) did not result in major differences in the terrain textural attributes visible in these images.

The results achieved in this lineament extraction exercise will allow a better understanding of the structural framework of the RIGSB and its relationship to the gold mineralization. Further steps of the project will focus on field verification of the lineaments and image processing methods to enhance these structures and to integrate SAR images with optical remote sensing data (Landsat TM), digital terrain model and regional airborne geophysics.





**Figure 1** – Radarsat images (F2 mode) of the Rio Itapicuru Greenstone Belt. **Top left:** ascending scene, illumination direction WSW-ENE; **Top Right:** ascending scene, with main geological contacts (**Gr** = granites, **Sp** = supracrustals) and lineaments; **Bottom Left:** descending scene, illumination direction ESE-WNW; **Bottom Right:** descending scene, with main geological contacts and lineaments. Copyright CSA 1997.



**Figure 2** – Intra STAR images of the Rio Itapicuru Greenstone Belt. **Top left:** ascending scene, illumination direction WSW-ENE; **Top Right:** ascending scene, with main geological contacts (Gr = granites, Sp = supracrustals) and lineaments; **Bottom Left:** descending scene, illumination direction ESE-WNW; **Bottom Right:** descending scene, with main geological contacts and lineaments.

# **Evaluación de riesgos volcánicos a partir de imágenes satelitales**

Ricardo Coloma y Roberto Velásquez

Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial - CONIDA  
Luis Felipe Villarán 1069, San Isidro, Perú  
Teléfono/Fax: 511-4419081  
[rcoloma@conida.gob.pe](mailto:rcoloma@conida.gob.pe); [rodave@conida.gob.pe](mailto:rodave@conida.gob.pe)

Vernon Singhroy

Canada Centre for Remote Sensing  
580 Booth Street, Ottawa, Ontario K1A0Y7  
Teléfono: (613) 947-1215  
[vern.singhroy@ccrs.nrcan.gc.ca](mailto:vern.singhroy@ccrs.nrcan.gc.ca)

## **ABSTRACT**

Este estudio, que forma parte de las actividades desarrolladas por el Proyecto GlobeSAR 2 (CONIDA/CCRS), describe cómo la integración de imágenes Radarsat y ópticas puede servir para la evaluación de riesgos volcánicos.

Además, pretende mostrar las bondades de las imágenes de radar para el monitoreo de volcanes y su estudio geológico y geomorfológico.

## **1. INTRODUCCION**

Lo que inicialmente comenzó como una evaluación de riesgos volcánicos a partir de imágenes satelitales ha ido aumentando otros campos de estudio debido a los resultados obtenidos en el camino y a la adquisición de una escena Landsat TM.

## **2. RESEÑA HISTORICA**

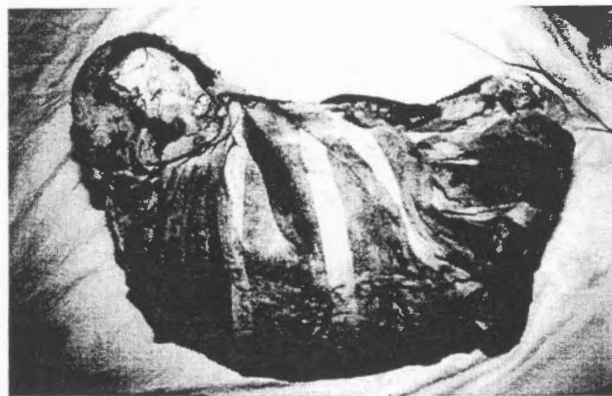
En la cultura Inca, se daba por cierto que la gente se originaba en las montañas y de otros accidentes geográficos. Los Incas realizaban ofrendas humanas por diversos motivos y las huacas, especies de templos, recibían parte de las ofrendas. En el Sur del Perú, una de las huacas más importantes es el volcán Coropuna que era considerado como la quinta huaca más importante en tiempos de los Incas; frente a él, al Oeste, tenemos al volcán Sara Sara, y al Este los volcanes Hualca Hualca, Sabancaya, Ampato, Huarancante, Chachani, Misti, Pichu Pichu, etc.

Existen noticias de que en el año 1965 se descubrió en el Coropuna un fardo funerario incaico que fue saqueado.

En 1990, el nevado Sabancaya comenzó a erupcionar. La ceniza caliente arrojada cerca del nevado Ampato oscureció el hielo y la nieve de su cima. Todo ello, sumado al efecto del Sol, contribuyó al derretimiento de muchas capas congeladas y

expuso mucha de la roca y antiguas estructuras que habían estado cubiertas durante años.

En 1995, la cima descubierta del nevado Ampato atrajo la curiosidad de los investigadores y se descubrió la momia denominada Juanita en muy buen estado de conservación. El fechado radiocarbónico de Juanita es del año 1466 DC.



Momia Juanita

### 3. DESCRIPCION DE LA SITUACION

El Sabancaya (15.78°S, 71.85°W; 5967 m de altitud; Sur del Perú), el más joven de tres volcanes adyacentes localizado a 75 Km al noroeste de la ciudad de Arequipa, presenta actividad volcánica. Es más, en Mayo de 1990 una erupción del mismo produjo una pluma que alcanzó una altura de 7Km.

En zonas cercanas a esta región existen poblados como Maca (afectado seriamente en 1990), Achoma, Yanque, Lari y Chivay que podrían verse perjudicados si ocurriera una erupción no solo del Sabancaya sino también de los otros volcanes adyacentes.

### 4. METODOLOGIA

El estudio se basó en la utilización de imágenes Radarsat (F2 y F4), Landsat y Spot (XS).

Las imágenes Radarsat y ópticas fueron georeferenciadas utilizando la carta nacional de la región de Chivay (Arequipa, Perú).

Las escenas satelitales fueron luego realzadas y combinadas para aprovechar la resolución espectral de las imágenes ópticas y la información geológica y geomorfológica provista por Radarsat.

Se digitalizaron las curvas de nivel de la zona correspondiente a los nevados Ampato y Sabancaya y, a partir de éstas, se generó un modelo de elevación digital (DEM) que se utilizó para determinar el posible curso del flujo de la lava en caso de erupción volcánica.

El DEM nos permitió, además, modelar diversas perspectivas tridimensionales combinando las diferentes imágenes satelitales.



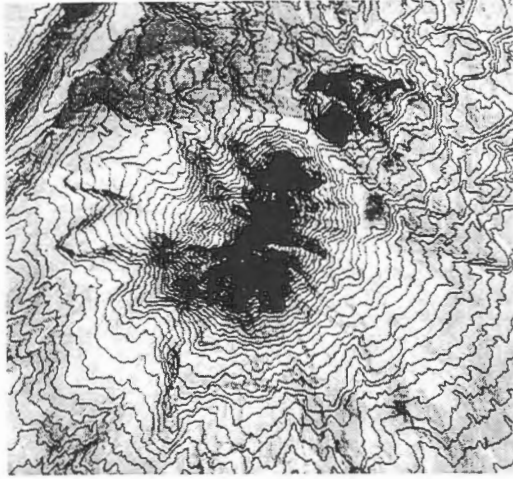
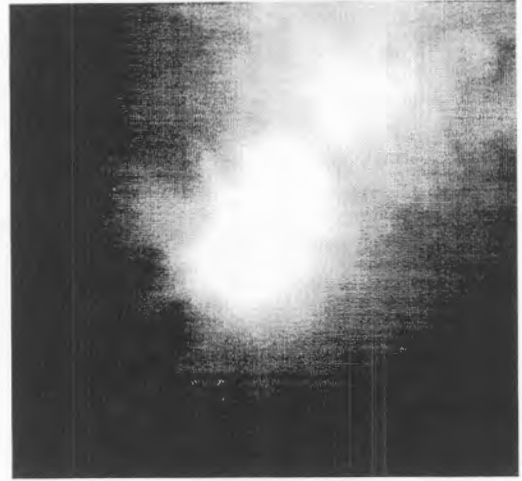
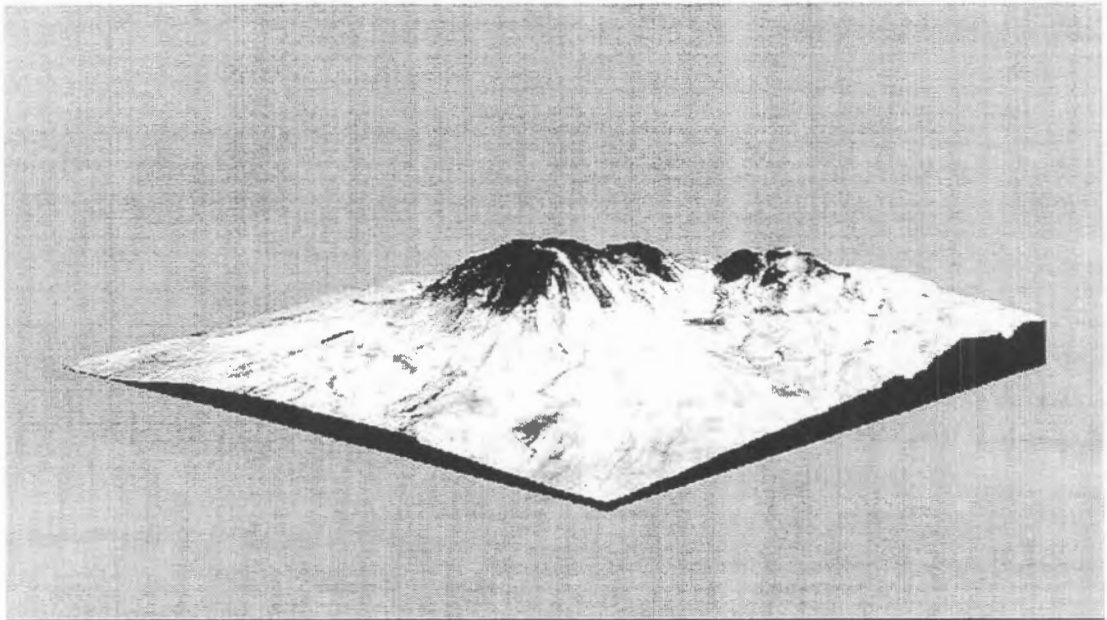


Imagen Spot con curvas de nivel superpuestas



DEM



Vista tridimensional de los nevados Ampato y Sabancaya (Imagen Spot)

## 5. RESULTADOS

El estudio nos permitió evidenciar que la fusión entre imágenes de radar y ópticas permite enriquecer la información espectral de las escenas ópticas con la rica información geológica y geomorfológica provista por las imágenes SAR.

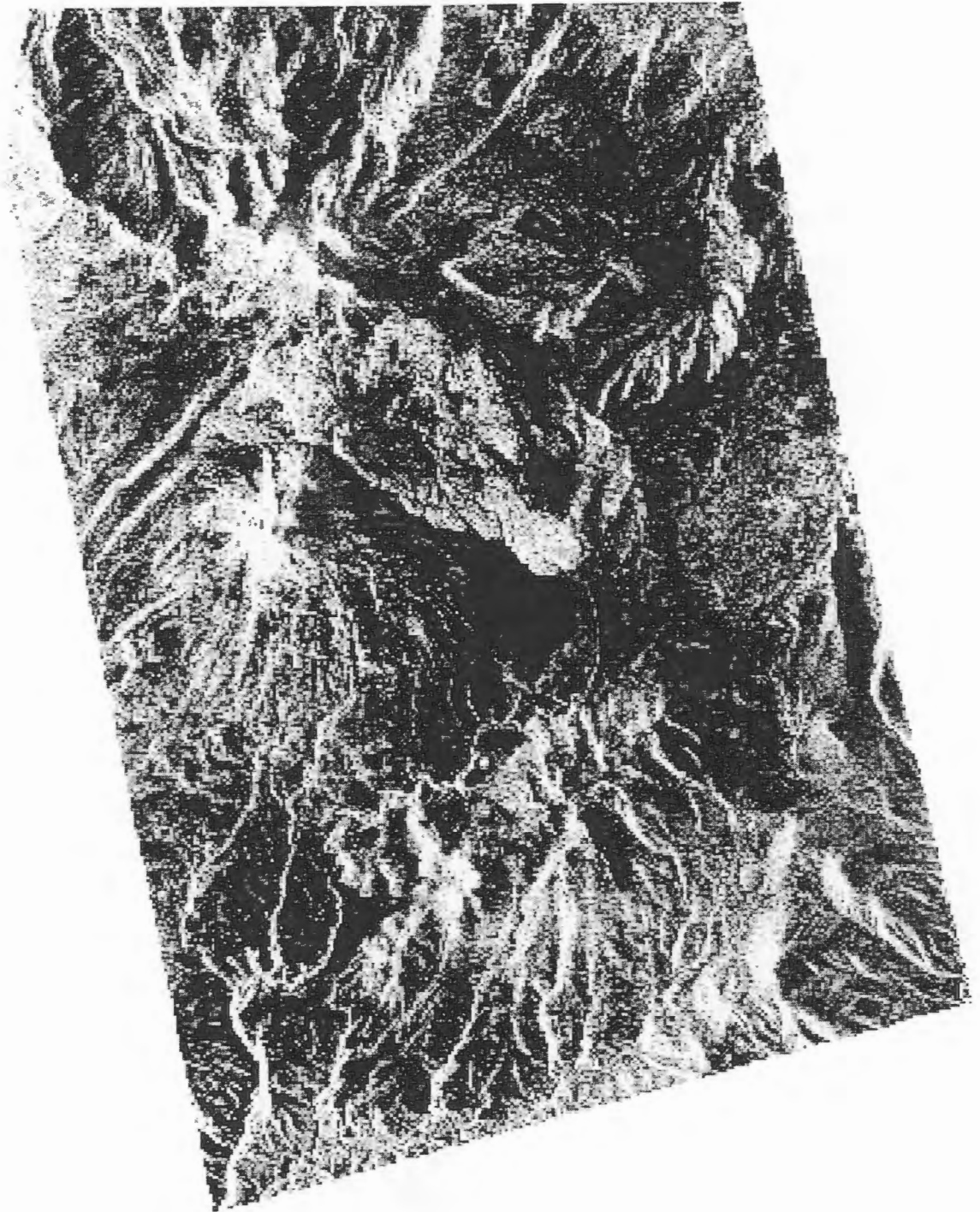


Vista tridimensional de los nevados Ampato y Sabancaya (Composición Radarsat/Spot)



Vista tridimensional de los nevados Ampato y Sabancaya (Composición Radarsat/Spot)





Región de Chivay, Arequipa, Perú (Composición Radarsat/Landsat)

En las imágenes ópticas (Landsat y Spot) no se podía apreciar con claridad el cráter del volcán Sabancaya mientras que en la imagen Radarsat no sólo fue posible identificarlo sino que se pudo medir su diámetro (400mts.). Es más, si las imágenes ópticas hubieran sido tomadas en 1990 cuando el Sabancaya erupcionó, su cráter no se vería ya que estaría totalmente cubierto por la fumarola del volcán. Esto evidencia las limitaciones que tienen las imágenes ópticas y la necesidad de seguir investigando las erupciones volcánicas utilizando imágenes SAR.



Imagen Landsat

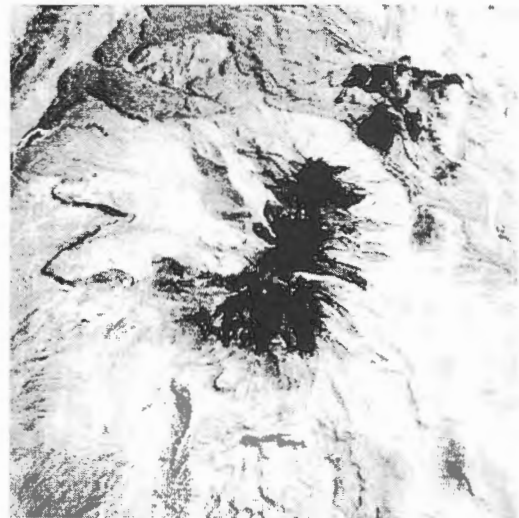


Imagen Spot (XS)

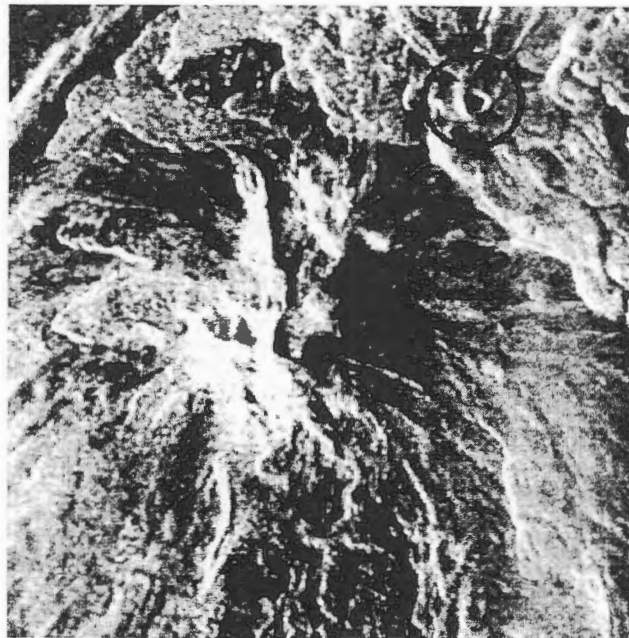
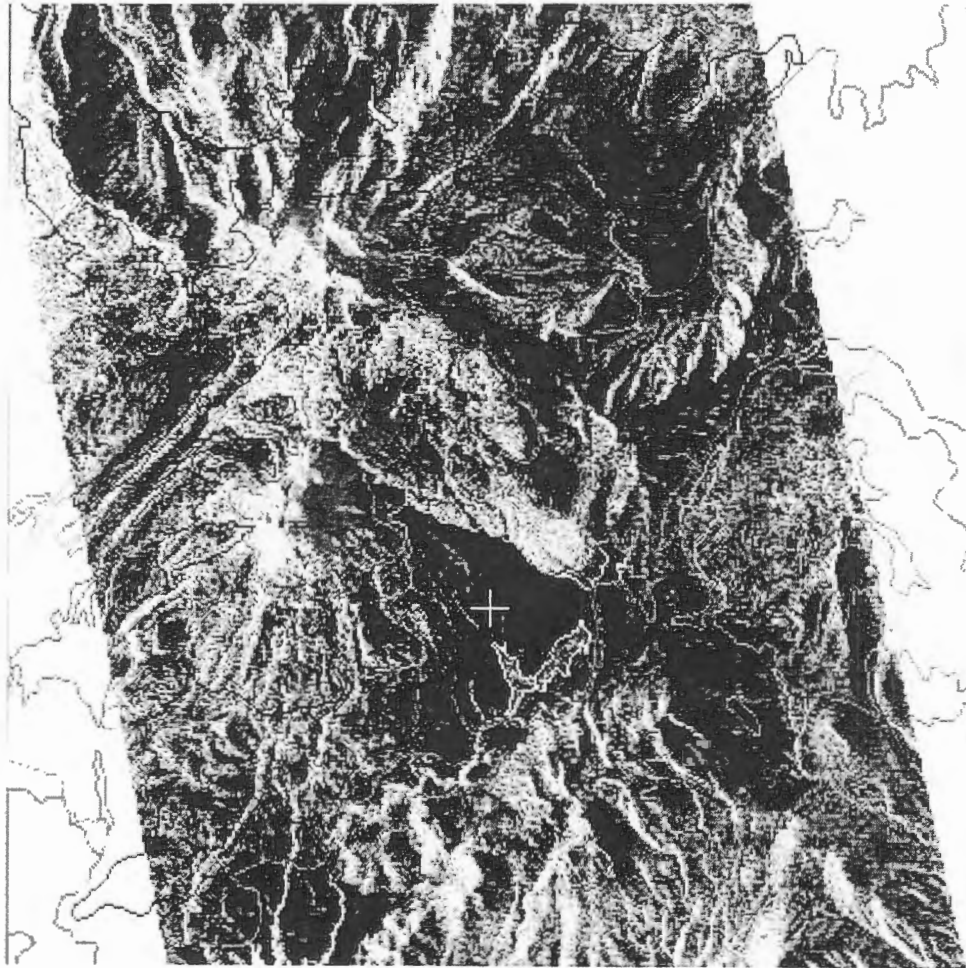


Imagen Radarsat

Se obtuvieron diversos mapas de riesgos volcánicos preliminares de zonas cercanas a los nevados Ampato y Sabancaya. Su generación se basó prácticamente en la información de inclinación ya que, hasta el momento, no se han considerado los datos estadísticos disponibles (ubicación y cantidad de la población) debido a que se ignora su confiabilidad.

Asimismo, el empleo de imágenes de radar permitió estudiar las características geomorfológicas de la región volcánica y observar los diferentes tipos de depósitos, flujos, capas, etc. geológicos de la zona de interés. Es más, la combinación Radarsat/Landsat coincidió prácticamente con el mapa geológico de la región como se muestra en la figura:



Composición Radarsat/Landsat con capas geológicas superpuestas

Nuestros resultados muestran que existe una buena correlación entre las imágenes Radarsat y los flujos de lava que no se observan en las imágenes ópticas.

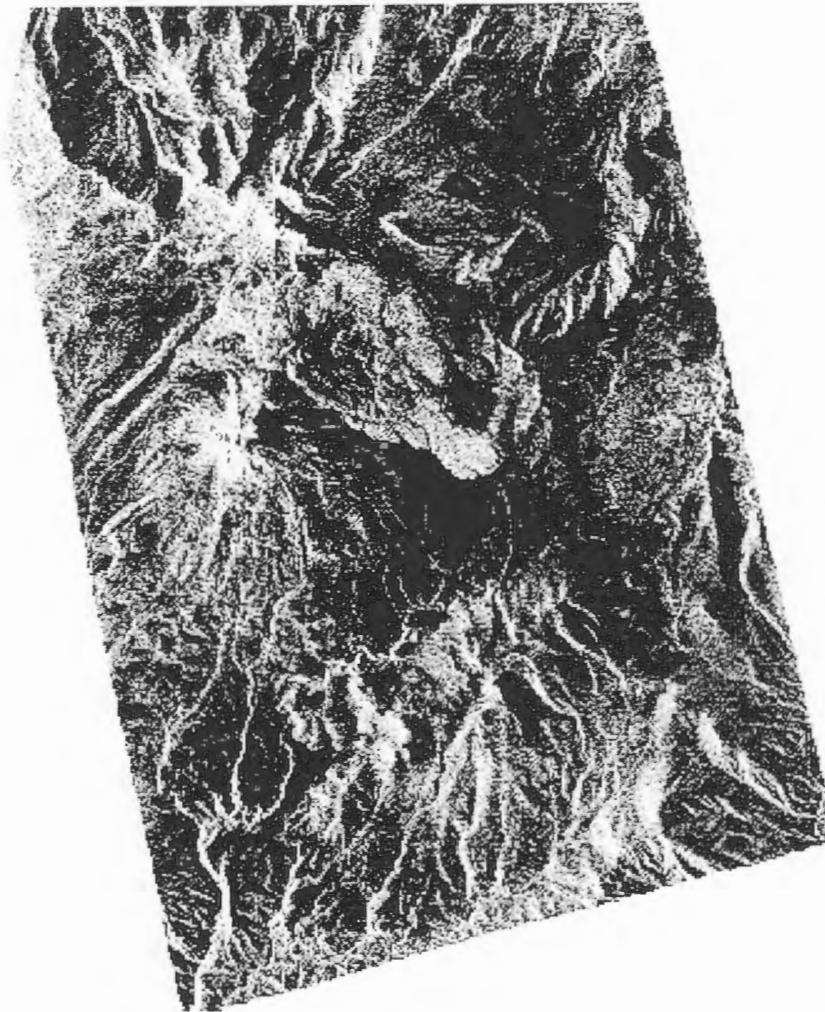


Imagen Radarsat

La realización de un proceso de interferometría diferencial permitirá en un futuro el desarrollo, detección y confirmación de todas las fallas existentes en el sector con gran exactitud.

Se espera ampliar la zona de estudio y hacer un trabajo de campo para comprobar los resultados obtenidos con el computador

Una vez terminado el procesamiento digital de imágenes satelitales se prevé integrar la información existente (imágenes y vectores) con la estadística mediante un sistema de información geográfica (GIS).

### **Referencias**

GVN Bulletin Reports for Sabancaya  
The Ice Maiden of Mt. Ampato; The Mountain Institute  
Juanita, la Niña del Hielo; Mg. Antonio Chávez Chávez  
Perú Incaico; Dr. José Antonio del Busto D.

# POTENTIALITIES OF RADARSAT-1 IMAGES IN GEOLOGICAL EXPLORATION OF BRAZILIAN AMAZONIAN: AN EXAMPLE IN THE PARDO RANGE REGION (STATE OF PARÁ)

**Mário Ivan Cardoso de Lima, Geologist\***  
**Pedro Edson Leal Bezerra, Geologist\***  
**Francisco Armando de Jesus da Fonseca Coêlho, Geologist\***  
**Armínio Gonçalves Vale, Geologist\*\***

\*Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (DIGEO/N)

Av. Gentil Bittencourt, 418 -CEP 66035-340 - Belém - Pará - Brazil

\*\*Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais ( Superintendência Regional de Belém)

Av. Dr. Freitas, 3645 - CEP 66035-340 - Belém - Pará - Brazil

email : mariovan@amazon.com.br

## ABSTRACT

The results of radargeologic interpretation obtained mainly with RADARSAT-1, S2 and S7 ascendent images, in the Brazilian Amazonian, Pardo Range region (State of Pará), supported by GEMS radar images, X band, LANDSAT-TM, band 4, aerogeophysical maps and ground information, are presented here. The research with RADARSAT images is comprised within the GlobeSAR2 Project in Brazilian territory.

The studied region is positioned between two important mineral provinces (Carajás and Tapajós) and the achieved results give evidence of the excellence of RADARSAT-1 images on regions such as the Amazonian, particularly when stereoscopy is used.

## INTRODUCTION

The Brazilian Amazonian was "discovered" by the radargrametric research carried out by the Brazilian government, with the RADAM ("Radar na Amazônia") Project, in the 1970s, period 1971 - 1978. Many information on natural resources, renewable and no-renewable, and for planning were then drawn regarding cartography, geology, geomorphology, vegetation, soils and potential land use. In that opportunity were employed GEMS side-looking radar images, X band, SAR, HH, no-digitals and without stereoscopy.

Lima and Vale, co-authors of this paper, could then analyze those remote sensors products, with farther field control using cars, plane and helicopters. Among the areas they had the opportunity of working was the one presently researched, whose results were published in RADAM (1974).

About 25 years later, there is an opportunity to return to the Pardo Range region and to compare the achieved results, now using a microwave sensor on the advanced RADARSAT and unpublished field information obtained from geological researches by CPRM/DNPM (1979), and Santos *et al.* (1988).

The deficiency of geological works, the presence of gold miners and the proximity of the Carajás Range Mineral Province, to east, and Tapajós Province, to west, oriented and justified the choice of this region for development research with RADARSAT-1 images, related to GlobeSAR2 Program. The principal aims of the present research are to contribute to the region geological knowledge, integrate it to the Carajás e Tapajós Mineral Province, to locate mines ("garimpos") and to study the potentialities of the RADARSAT-1 images to the geological exploration in regions such as the Brazilian Amazonian.

The lack of geological data and the precarious situation of the road system are the main hindrances to the researches in the Pardo Range region. Due to these reasons, it was used another products from remote sensors and aerogeophysical maps as support to the geological research in the region.

The geological base was built by the RADAM Project (1974), lately modified by the CPRM/DNPM (1979) with new field data and geophysical maps, and ultimately complemented by geological and geochronological data by Santos *et al.* (1988) along the Xingu River. Besides, both the first and the fourth authors, in the 1970s, carried out field works in the region. Helicopters were used in target examinations, as well as low flights aiming at to establish the image/terrain correlation.



## LOCALIZATION

The Pardo Range is located at the central sector of the State of Pará, northern region of Brazil, in the middle Xingu River basin, one of the main tributaries by the right margin of the Amazon River. With NW-SE orientation, the Pardo Range is a topographic feature with height of 400 m and about 200 m of difference in levels (Figure 1).

The searched region comprises an area of about 10,000 km<sup>2</sup> and its central coordinates are 23°04' W Gr and 05°50' S.

## METHODOLOGY

The used methodology was the SRE (Systematic of Radargraphic Elements) as defined by Lima (1995) and specific to Side-Looking Airborne Radar (SLAR). This methodology provides the drawing of radargraphic texture/tone, followed by the landforms analysis (summit, slopes and degree of erosion), as well as drainage patterns. These topics are enriched by linear, positive and negative, plain and table features, of great importance for lithostructural interpretation.

The **Radargraphic Elements Systematic** (SER) method reveals in the systematic form the methodological route adopted, be it through the text, through schematic figures, or in side-looking radar, with the radargraphic elements (features), ordered in five different stages: Reading, Recognizing, Identifying, Analysis and Interpretation (*stricto sensu*).

The **Reading** stage seeks to understand the meaning of the image elements in the terrain, with the goal of understanding their meaning; the **Recognizing** stages seek to group them according to the texture and radargraphic tone, so to obtain homogeneous radargraphic zones; **Identification** seeks to study the relief forms in such zones, with regard to top and pending, as well as the studying of the drainage patterns, dissection degree and erosion resistance; and the **Analysis** establishes the spatial and temporal relationship of the relief forms researched through linear, planar and tabular features. With such information in hand, the **Interpretation** stage itself is reached, in which it is possible to define lithologies, rounded structures, unconformities, discontinuities, folds and their interrelations, with a view to executing the Radargeological Map. In effect, a model area was selected to serve as paradigm for the different methodological stages.

The radarinterpretation, at the 1:250,000 scale, was based on the RADARSAT images, Standard mode, S<sub>2</sub> and S<sub>7</sub>, ascending, with side-looking to east, copy in paper, with excellent stereoscopy – which favoured the application of the SRE methodology above mentioned. GEMS radar images, X band, side-looking to east, from 1972, and LANDSAT-TM, band 4, from August 1985, were used as support. Aerogeophysical maps (magnetometry and radiometry) and sample maps of researches carried out by the RADAM Project (*op. cit.*), CPRM/DNPM (*op. cit.*) and Santos *et al.* (1988) were also used.

## REGIONAL GEOLOGY

In agreement with existing geological data and the results of the radarinterpretation, it was possible to identify several radargeological units according to defined by Lima (*op. cit.*): a metamorphic basement (gn), ortoderived gneisses and amphibolites, with well-defined NW-SE positive linear features, and granite gneiss (grgn) with great incidence of ortoderived granitoids. These units are covered by metasediments (ms), composed by iron formation, schists and quartzites forming regionally conspicuous ridges oriented to NW-SE.

It was possible to identify three units of granitoids: the earlier one represented levelled areas of well-defined dendritic-rectangular drainage ( $\gamma_1$ ); the second unit forms well-oriented batholythic massifs with convex hills ( $\gamma_2$ ); mostly fractured and a third unit, younger, defined by circular bodies under the feature of stocks ( $\gamma_3$ ). Associated to this last unit it was identified the presence of volcanic rocks ( $\alpha_1$ ), marked in the landscape as ridges without any orientation.

Otherwise, six sedimentary rocks units were identified. The earlier one, S<sub>1</sub> and S<sub>2</sub>, comprising sandstones, greywackes and carbonaceous shales, is younger than ( $\gamma_1$ ), but more ancient than ( $\gamma_2$ ) and ( $\gamma_3$ ). The S<sub>3</sub> and S<sub>4</sub> units keep contact relations with the S<sub>2</sub> unit, being younger due to the fact that occur at the center of the syncline structures. The first unit is primarily made of pelitic-psammitic material and the second one is made of psammitic material. The S<sub>5</sub> and S<sub>6</sub> units are recent alluvial and alluvial covers, and alluvial deposits, respectively. (Figure 2).

Referring to tectonic-structural aspects, it is remarkable the presence of a sinistral binary, with E-W

orientation, whose  $\sigma_1$  dynamic axis is around NW-SE while  $\sigma_2$  has a NE-SW orientation, both horizontally disposed, the first one transcurrent and the second one compressive. The  $\sigma_3$  axis is vertical and distensional. As a result from these stresses, ample folds with axis oriented according to N-S were developed on the sedimentary covers, presenting NW-SE sinistral transcurrent faults which account to shear zones, as well as compressive sigmoides of similar orientation forming compressive duplexes. Normal faults have NE-SW orientation. See Riedel Diagram in Figure 2.

## ECONOMIC GEOLOGY

Despite a great potentiality for mineral sources, the Pardo Range region, considering the incidence of gold mines ("garimpos") in the early of 1990s, at the present shows only two gold mines (Garrancho and El Dorado), which are virtually non-operational according to verbal information by the geologist Hélio Ikeda (Figure 2).

In view of the present scenery, it is possible to foresee to the region a promising future regarding mineral resources due to its location at the same geological environment as the Carajás Mineral Province, at east, referring to its basement, as well as by coeval volcanic-plutonism to the Tapajós Mineral Province, at west, prodigal for comprising great gold and cassiterite deposits in lithostratigraphical sequence (Iri Formation).

## CONCLUSIONS

The excellent response of the RADARSAT-1 images is an evident conclusion, particularly when used with stereoscopy. The monoscopic interpretation is dampered by the presence of layover and radar foreshortening especially in the  $S_2$  mode, besides the little enhancement of the landforms, summits and slopes, due to lesser length of shadows, with implications over the texture characterization. The utilization of GEMS images, X band, is a significant complement to a better definition of the landforms due to higher incidence angles ( $45^\circ$  and  $77^\circ$ ), but there is difficult with the length of shadows. The LANDSAT-TM image, band 4, had great importance to the identification of features with E-W orientation, and also due to its richness of tones especially for humid zones (alluvial plains), where there is no significant difference in topographic levels. The aerogeophysical maps were relevant for the identification of structures (magnetometry) and lithologies (radiometry). However, it was not possible to identify mafic-ultramafic sequences that could hint structures of the sort of greenstone belt, prodigal in gold deposits.

## BIBLIOGRÁFICAS REFERÊNCIAS

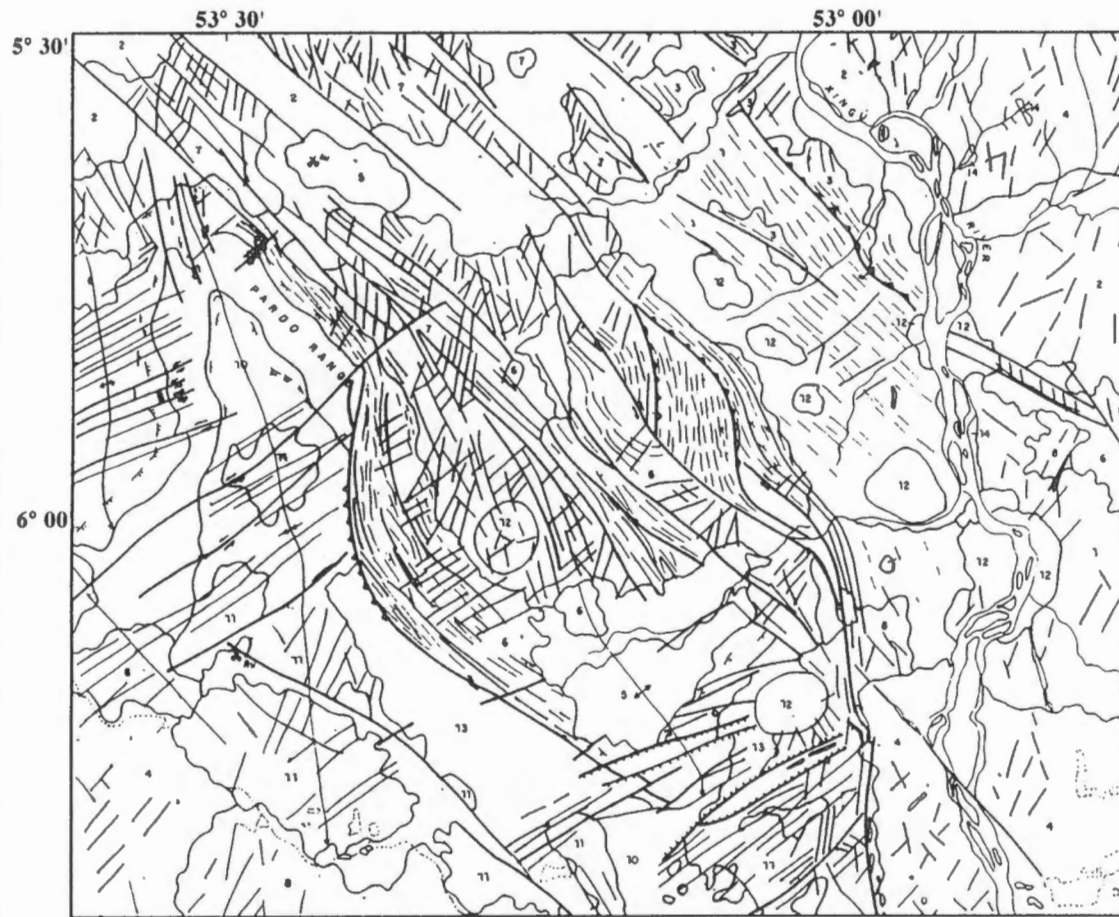
CPRM/DNPM - Integração Geológica-Geofísica do Sul do Estado do Pará. RJ. 1979.

LIMA, M.I.C. de - Metodologia de Interpretação Radargeológica. Belém, UFPa. Tese de Doutorado, 1995. 426 p.

RADAM - Geologia da Folha SB.22/SC.22 - Araguaia/Tocantins. DNPM. RJ. 1974.

SANTOS, M.V. *et al.* - Litoestratigrafia Precambriana na Região Xingu-Iri. Simp. Latino-Americano. Belém. 1988.

# GLOBESAR 2 - PARDO RANGE REGION



**LEGEND**

<p><b>RADARGEOLÓGICAL UNITIES</b></p>	<p><b>LITHOLOGIES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>S<sub>0</sub> - Sediments</li> <li>S<sub>1</sub> - Sediments</li> <li>S<sub>2</sub> - Granitoids</li> <li>S<sub>3</sub> - Sediments</li> <li>S<sub>4</sub> - Sediments</li> <li>S<sub>5</sub> - Sediments</li> <li>S<sub>6</sub> - Granitoids</li> <li>S<sub>7</sub> - Volcanics</li> <li>S<sub>8</sub> - Basic Rocks</li> <li>S<sub>9</sub> - Sediments</li> <li>S<sub>10</sub> - Sediments</li> <li>S<sub>11</sub> - Granitoids</li> <li>S<sub>12</sub> - Metasediments</li> <li>S<sub>13</sub> - gnaisses</li> <li>S<sub>14</sub> - Granite Gnaisses</li> </ul>
---------------------------------------	---

**CONVENTIONS**

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contact between units</li> <li>- Fracture</li> <li>- Bedding</li> <li>- Foliation</li> <li>- Fault indiscriminated</li> <li>- Inverse fault</li> <li>- Normal fault</li> <li>- Strike slip fault</li> <li>- Tabular body</li> <li>- Inactive Prospect</li> <li>- Silicification zone</li> <li>- Drainage</li> <li>- Road</li> <li>- Antropogenic feature</li> <li>- Gold</li> <li>- TROOPMENTS</li> <li>- Fc 2 0116</li> </ul>	
---	--

Map based in geological interpretation

- Standard mode: ascendente, Radarsat: imagens (S<sub>2</sub> and S<sub>1</sub>) 08.a7.
- GEMS images (RADAM Project); 1972
- LANDSAT TM-5 images, band 4, WRS 225 64 and 226-64 (07.8b).
- Geophysical maps: magnetometry and radiometry.
- Interpretation by M I C Lima

SOURCES: - RADAM (1979)  
 CPRM/DNPM (1979)  
 M.V. (1988)  
 SENTOS

Figure 2: RADARGEOLÓGICAL MAP OF PARDO RANGE REGION - PARA STATE, BRAZIL

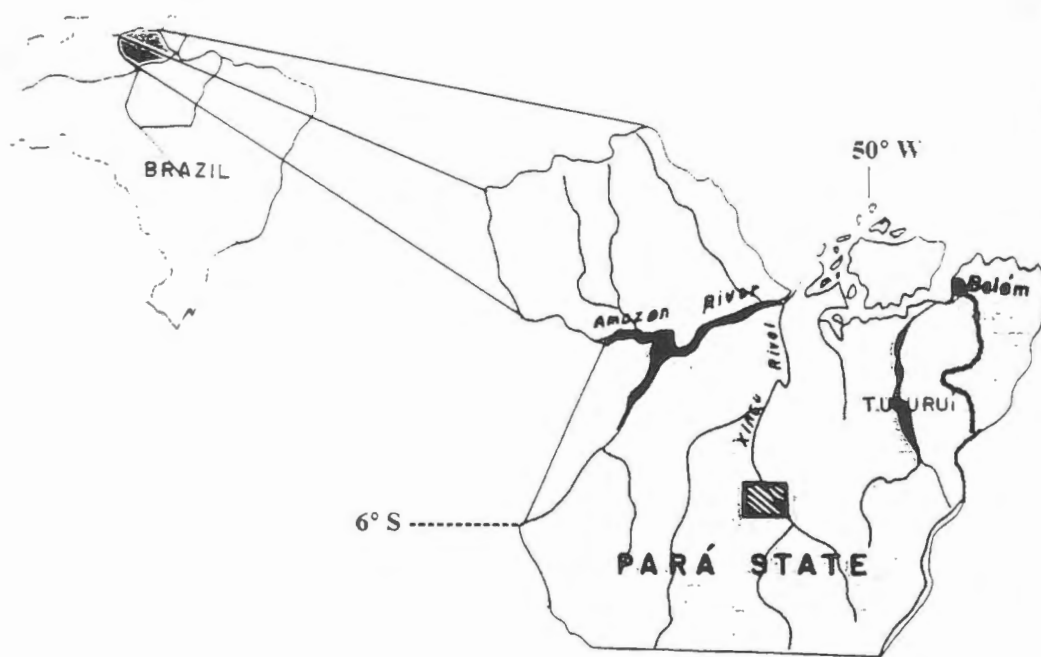


Figure 1 : Localization Map of PardoRange Region. (Para State, Brazil).



Figure 1B - Location of RADARSAT - 1 Scenes

# **CARTOGRAFIA A PARTIR DE LA GENERACION DE MODELOS DIGITALES DE ELEVACION CON IMAGENES DE MICROONDAS BANDA-C**

**My. Ing. Mario W. Sandóval Sandóval  
Cap. Ing. Juan Carlos Sanabria Ayala**

**INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR DE BOLIVIA  
SECCION GEOGRAFIA Y RECURSOS NATURALES  
Estado Mayor General Av. Saavedra No. 2303  
FAX. 591 -02 - 227889  
email igmsgm@datacom-bo.net**

## **RESUMEN**

Este proyecto pretende demostrar en un plazo razonable, las ventajas que presentan las imágenes de microondas para la generación de cartografía básica a esc. 1:50.000, en aquellas zonas donde las condiciones atmosféricas impiden el empleo de imágenes ópticas, para ello, gracias a una metodología inicialmente desarrollada en Canadá y en proceso de validación en el I.G.M., se elaboran ortoimágenes, modelos digitales de elevación y generación de curvas de nivel, vistas perspectivas y por último mapas. Finalmente la información digital obtenida será comparada o validada con información ya disponible, para determinar su precisión y por ende avalar la metodología.

## **I.- INTRODUCCION**

En Bolivia el Instituto Geográfico Militar (I.G.M.), es la única Institución técnica cartográfica facultada por ley, para la formación y publicación del Mapa Político de Bolivia en sus diversas escalas, así como de la carta fundamental y sus derivados, en ese marco legal, el I.G.M. viene desarrollando sus actividades cartográficas desde 1936, habiendo logrado a la fecha recubrir más del 75 % del país con cartografía básica (escala 1:50.000), faltando información entre los paralelos 13° y 16°. En esa área existen zonas que no han podido ser cubiertas con fotografías aéreas, esto debido a la presencia constante de nubes.

Por otra parte, el I.G.M. consciente de sus responsabilidades y además de la necesidad de información para cualquier plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial, viene encarando programas agresivos de actualización y generación de cartografía básica. Es así que el año 1996 firma el convenio con SPOT IMAGE Francia para realizar proyectos de actualización cartográfica empleando imágenes Spot pancromáticas, además de elaborar espaciomapas en las zonas sin información cartográfica, de manera que al concluir el mismo tenga 139 espaciomapas y más de 350 hojas actualizadas, tanto por métodos estereoscópicos y/o monoscópicos. En ese marco, surge como solución para elaborar espaciomapas y/o cartografía a escala 1:50.000, en aquellas áreas donde los factores atmosféricos nos impiden utilizar imágenes del visible, el empleo de imágenes de microondas, ya que estas nos permiten obtener el registro de datos, de forma independiente a las condiciones climáticas y a la iluminación solar.

Reconocemos que existen ya investigaciones relacionadas con la cartografía, utilizando datos de Radar particularmente de apertura sintética (SAR); trabajos referentes a la exactitud geométrica en planimetría y altimetría, extracción de características planimétricas; extracción de modelos digitales de elevación (DEM), contenido de imagen, integración raster - vector, espaciomapas, etc. Pero pese a todo ello, todas las imágenes de Radar necesitan parámetros rigurosos de corrección geométrica, en función a las características el área de trabajo.

## **II.- DESCRIPCION**

En este proyecto se pretende desarrollar una experiencia piloto que permita la apertura a la utilización

de esta nueva tecnología en la elaboración de cartografía a escala 1:50.000, tanto para la confección de espaciomasas, actualización (si se disponen de datos) o generación de información o elementos planimétricos con coordenadas cartográficas en 3 Dimensiones. Se explotará al máximo las características del RADARSAT, el cuál trabaja en la banda - C (5,3 Ghz) con polarización horizontal, además, el sensor tiene la capacidad de formar y orientar el haz de radar para un ancho de barrido de hasta 500 Km., con ángulos de incidencia que varían de menos de 20 ° a más de 50°.

Radarsat merced a muchos años de experiencia y al trabajo sistemático de varios profesionales del área, ha venido desarrollando metodologías que pretenden solucionar el problema particular planteado por el I.G.M., tales como: la generación de información geográfica con coordenadas cartográficas en 3 dimensiones por el método estereoscópico, para ello se utiliza dos imágenes obtenidas de dos posiciones "ligeramente" diferentes de manera de obtener el paralaje (distorsión debido a la altura) necesario; y/o el método monoscópico, en el cual se trabaja con la imagen y el DEM, luego la ortoimagen.

Toca ahora validar este trabajo o metodología, para ello se empleara aproximadamente 15 puntos de control por modelo, pero ya no extraídos de las cartas sino puntos GPS, con lecturas de 1er orden, trabajo este que esta planificado para la presente gestión, en cuanto pase la época de lluvias en Bolivia; con estos datos, obviamente los errores residuales bajaran, en lo posible hasta las precisiones requeridas en cartografía para la escala 1:50.000.

Al momento, la tarea que venimos realizando es netamente de gabinete, elaborando todos los productos intermedios descritos en la metodología. Ambas áreas están permanentemente cubiertas por nubes, e incluso una de ellas presenta la mayor precipitación media anual del país, por encima a los 3.000 mm. Año. Para el cumplimiento de esta tarea Radarsat superó algunos problemas de programación, obteniéndose finalmente las siguientes imágenes de radar.

A.- **Imágenes:** Como señalamos anteriormente son dos las áreas seleccionadas para el proyecto piloto de cartografía con imágenes de microondas.

1.- **Area MAPIRI :** Correspondientes a las hojas esc. 1:50.000 5948 - I - II

Latitud	=	14° 50'S	a	15° 30'S
Longitud	=	67° 50'W	a	68° 25'W

Area con serranía alta al norte y serranía baja en la parte sud, generalmente cubierta con bosque alto de 15 a 20 m de altura, del cuál se obtuvo un par estereoscópico con las siguientes características:

- 1) RADARSAT - 1 en Modo Beam S3  
Paso Descendente  
Fecha 27 de Junio de 1997  
Angulo de incidencia entre 30° y 37°  
Resolución nominal 25 m  
Area nominal 100 x 100 Km.  
Imagen izquierda  
Tamaño: 8880 p x 8045 f
- 2) RADARSAT - 1 en Modo Beam S7  
Paso Descendente  
Fecha 11 de Julio de 1997  
Angulo de incidencia 45° a 49°  
Resolución nominal 25 m  
Area nominal 100 x 100 Km.  
Imagen derecha  
Tamaño: 8938 p x 9249 f

2.- **Area ESPIRITU SANTO :** Correspondiente a la hoja 1:50.000 6442 - I



Latitud	=	16° 55'S	a	17° 15'S
Longitud	=	65° 25'W	a	66° 50'W

Area con serranía baja y cubierta con bosque alto con árboles de  $\pm 12$  metros, del cual de igual manera se obtuvo un par estereoscópico con las siguientes características: ..

- 1) RADARSAT - 1 en Modo Beam F5  
Paso Descendente  
Fecha 14 de junio 1997  
Angulo de incidencia entre 45° a 47,8°  
Resolución nominal 8 m  
Area nominal 50 x 50 Km  
Imagen derecha
- 2) RADARSAT - 1 en Modo Beam F2  
Paso Descendente  
Fecha, 25 de julio de 1997  
Angulo de incidencia 38° a 42,5°  
Resolución nominal 8 m  
Area nominal 50 x 50 Km  
Imagen izquierda.

En estos casos ambas imágenes son descendentes, por lo tanto la distorsión se presenta del lado derecho. En estéreo radar tenemos la disparidad binocular y el efecto de las sombras, este último nos da la idea de relieve, en cambio la profundidad es una combinación entre un efecto psicológico y uno fisiológico.

Las dos áreas son diferentes, la primera es ondulada (ROLLING) con pendientes entre 10° y 30°, en ese caso la distorsión geométrica es mediana al igual que la distorsión radiométrica, en cambio la segunda es más ondulada casi montañosa con pendientes entre 30° y 50°, en cuyo caso la distorsión radiométrica es grande y la distorsión geométrica más pequeña, por ello se eligen pasos del mismo lado con ángulos de intersección pequeños.

Como hemos podido comprobar, al tener las imágenes descritas anteriormente, perdemos algo de información del lado opuesto y también del lado frontal, por ello surge una primera recomendación y es la de emplear dos PARES ESTEREOS por zona, de manera de obtener información completa del área (FINES CARTOGRAFICOS).

### III.- PROCESAMIENTO INICIAL

**A.- Mapiri :** En el caso particular del área denominada Mapiri, se empleó el calce automático de imágenes, de manera que ganamos en radiometría sobre la geometría, se realizó la generación de curvas de nivel desde el DEM, con intervalos de 100 m y con un error de 50 mts. en elevación.

Para el procesamiento de los datos se utilizó el Software PCI, se empleó el par estereoscópico descrito en el párrafo anterior, con todos los errores geométricos y radiométricos comunes en este tipo de imágenes, los que fueron corregidos en una primera fase por RADARSAT (preprocesamiento), la entrega fue en soporte CD-ROM, de acuerdo a la descripción anterior.

**1.- Estéreo Modelo:** En este proceso inicial se utilizaron 26 puntos de control extraídos de la cartografía a escala 1:100.000, hoja No. 3240 producida por el DMA (hoy NIMA), pues no existe cartografía básica 1:50.000 en el área, esta carta presenta una equidistancia de 80 m y los siguientes datos: Elipsoide: WGS 84, Zona: UTM 19 y Proyección: Transversa de Mercator.

Posteriormente se realizaron los siguientes procesos:

**2.- Extracción del DEM del par de imágenes:** Con el empleo de la información disponible se procedió a realizar esta tarea de acuerdo a los siguientes pasos (metodología Radarsat).

- Leer del CD el par de imágenes (CDSAR)
- Obtener puntos entre 15 - 30 ptos de control (x, y, z) para cada imagen (GCP WORKS) grabándolos luego como segmentos.
- Computar el modelo matemático para cada imagen (SMODEL)
- Búsqueda de la imagen apipolar proyectada (SEPIPRO)
- Extracción del DEM (RSDEM), en este paso se considera la altura mínima (500 m.) y la altura máxima (2260 m.)
- Edición del DEM
- Finalmente copiar los resultados del DEM satelital entre la imagen satelital sin corregir y la imagen geocodificada (SDEMCPY)

3.- **Creación de las Orto Imágenes:** Se crearon las dos imágenes de 16 Bits correspondientes al 27 de junio y la del 11 de julio, de acuerdo a los siguientes parámetros generales:

- Comando PCI: EASI y Sortho
- Número de canales: 1
- Resample: cúbico
- Luego se utilizó el "HIS" y "SCALE" para convertir los dos orto imágenes de 16 bits a 8 bits.

4.- **Creación de la imagen en Pseudocolor :** Para ello se siguen los siguientes pasos:

- Editar el rango PCI (Edit)
- Transferir el segmento de pseudocolor dentro los canales (PCE).

5.- **Realizar el DEM:** Para preparar la conversión del "IHS" al "RGB"

6.- **Conversión "IHS" a "RGB"**

7.- **Generación de las imágenes como estereoscópicas.**

8.- **Elaboración del segmento de curvas de nivel generados del modelo**

9.- **Creación de las imágenes de pistas perspectivas.**

Los resultados del modelo con los 26 puntos de control son los siguientes:

*Imagen del 27 de junio de 1997 (izquierda)*

Error residual en X (metros)	=	34.67
Error residual en Y (metros)	=	18.46
RMS (metros)	=	39.28

*Imagen del 11 de julio de 1997 (derecha)*

Error residual en X (metros)	=	32.97
Error residual en Y (metros)	=	19.62
RMS (metros)	=	38.37

Datos con los cuáles elaboramos la siguiente tabla:

<i>RMS/Residuales máximos</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>
<i>Estéreo imagen izquierda</i>	<i>34.67 / 80.58</i>	<i>18.46 / 36.39</i>	<i>39.28 / 65.99</i>
<i>Estéreo imagen derecha</i>	<i>32.97 / 47.12</i>	<i>19.62 / 44.42</i>	<i>38.37 / 67.60</i>

**Cuadro 1:** Relación entre el RMS y los residuales máximos en metros.

Si comparamos ambas, las diferencias no son significativas, pero individualmente generalizadas pueden darnos una idea de la exactitud del modelo, la que depende por lo visto, de la calidad y exactitud de los puntos de control. Si consideramos la fuente origen de estos puntos de control, cartografía a escala 1:100.000, con precisión planimétrica de 20 metros e intervalo de curvas de 80 metros, comprendemos a cabalidad los errores, los cuáles deberán bajar o disminuir mucho más con puntos de control terrestre de GPS con la precisión necesaria para la escala 1:50.000

Para la medición de altura, se realizó una primera evaluación, con el fin de cuantificar la exactitud de la posición del punto altimétrico, comparándose los valores de elevación del DEM con el mapa topográfico a escala 1:100.000, usando para ello 30 puntos de chequeo, en los cuáles se obtuvieron las siguientes estadísticas:

Mediana (Dif): - 33.4 m.  
 RMS (Dif): 56.5 m.  
 Diferencia Mínima: - 133 m.  
 Diferencia Máxima: 35 m.

Nuestro trabajo en adelante es obtener o mejorar los siguientes parámetros del MDE de RADARSAT.

<i>EXACTITUD GEOMETRICA</i>	<i>EXACTITUD</i>
<i>PLANIMETRIA</i>	<i>15 A 20 m (Media Cuadrática)</i>
<i>ALTIMETRIA</i>	<i>30 m (Media Cuadrática)</i>

**Cuadro 2 :** Exactitudes de Radarsat

**B.- Espíritu Santo:** En este caso particular, el procesamiento y elaboración de la ortoimagen fué desarrollado por la empresa INTERMAP TECHNOLOGIES de Alberta Canadá, empleando una metodología similar a la descrita en el párrafo A, de la cuál solo llegó los resultados que presentamos hoy.

#### IV.- LOGROS ALCANZADOS

Hasta el momento, ha sido una experiencia completamente nueva el introducirnos a las imágenes de microondas radar, pues su manejo e interpretación difieren totalmente de las imágenes ópticas, a las cuales estamos acostumbrados, pues ya hemos realizado actualización cartográfica con estereopares SPOT; ello involucra ahora reinstruir a nuestra gente (técnicos y operadores).

Se está incursionando en el empleo de otros Softwares adicionales al PCI para el manejo de esta información satelital, tal el caso del GEOIMAGE, DPW de LEICA - HELAVA, ERDAS IMAGINE, ILWIS, etc., obteniéndose resultados o respuestas particulares en cada uno de ellos que al final merecerán ser detallados.

Finalmente indicar que se están seleccionando las zonas en las cuales se pondrán los puntos GPS, tarea complicada, pues no hay carreteras o puntos característicos fáciles de identificar, más aún en el área de Mapiri donde al acceso tendrá que ser por helicóptero. Una vez seleccionadas las áreas, se sacaran ploteos a escala grande, además de descripciones del posible punto, junto a una referenciación aproximada, para que las comisiones de campo puedan navegar al lugar y tomar los puntos. No se salió aún al terreno por factores climáticos, ya que en Bolivia hasta abril es época de lluvias, las cuales impiden el normal desarrollo de las tareas de toma de puntos con GPS.

Los productos preliminares que se presentan en este simposio, usan como fuente primaria de datos las ortoimágenes generadas de las dos áreas de estudio en las cuáles se hicieron cortes al tamaño aproximado de nuestra carta básica, vale decir 15' x 10', corte que fue exportado al formato TIFF y luego procesado en nuestra cadena de actualización cartográfica que es de la línea INTERGRAPH.

Este corte de imagen fue nuevamente rectificado con puntos de control a escala 1:50.000 en el caso de Espiritu Santo, mejorándose notablemente la anterior precisión y exactitud de la orto imagen (datos precisos serán presentados al finalizar el proyecto), Este corte filtrado de manera de resaltar ciertas características, fue sobrepuesto a la carta topográfica (planimétrica) digital, donde se afinó aún más la corrección hasta que no presentara desplazamientos, los cuáles, si los hubiera, pensamos serán corregidos con puntos de control terrestre tomados con GPS.

Como mencione antes, hoy presentamos como producto intermedio y preliminar dos espaciomapas radar, elegidos de dos sectores de ambos modelos, en el formato básico de nuestra cartografía, con una precisión "discutible" por hoy, pero que será mejorada sustancialmente al finalizar el proceso, obteniéndose (como es el objetivo del proyecto) cartas y espaciomapas a escala 1:50.000, de acuerdo a todas nuestras normas cartográficas, validando de ser posible, la metodología propuesta por Radarsat.

#### **V.- CONCLUSIONES PRELIMINARES**

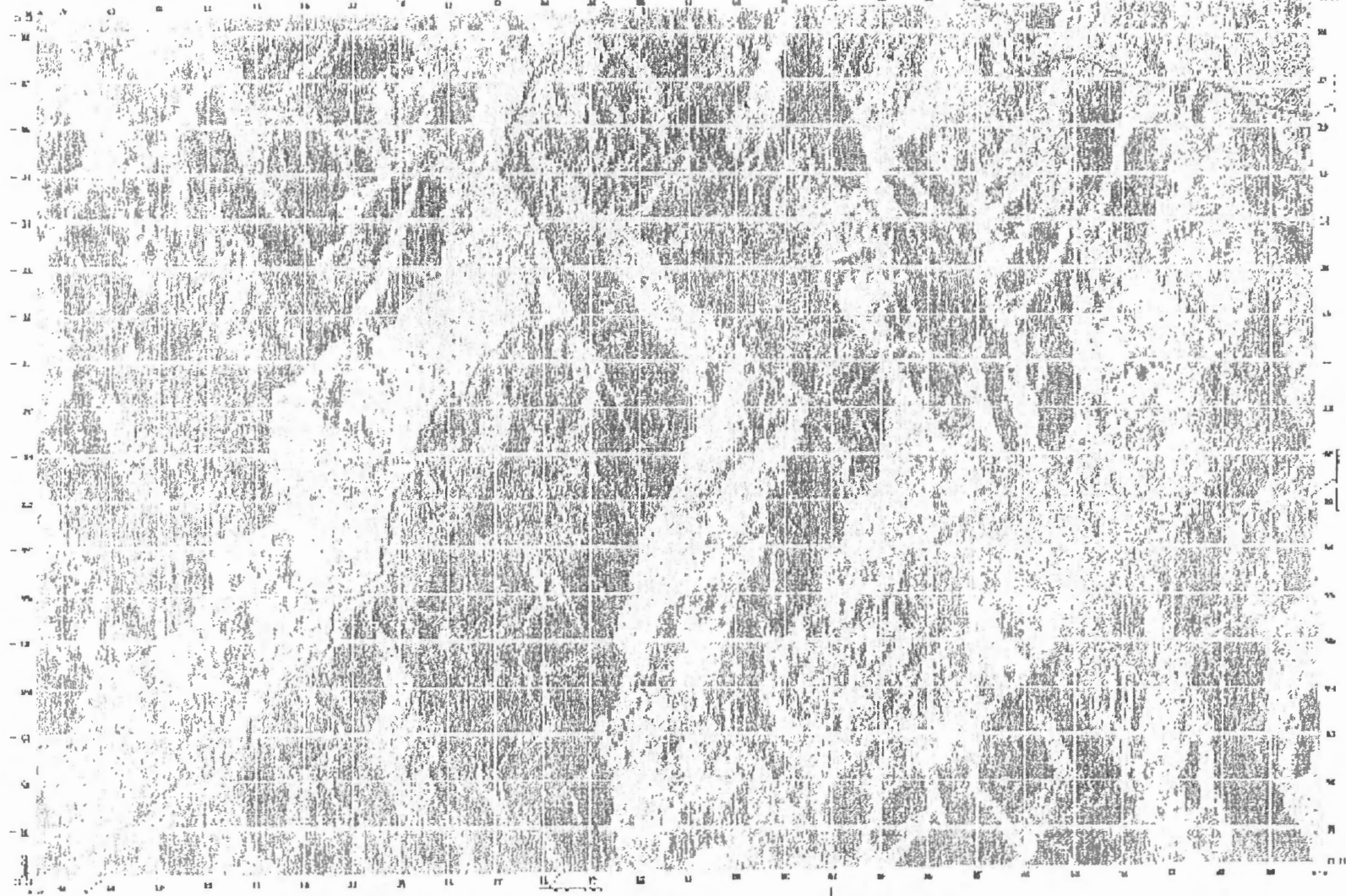
Este proyecto está presentando los resultados iniciales y/o preliminares de la obtención de cartografía y/o espacio mapas a partir de la generación de modelos digitales de Elevación con imágenes de microondas en Banda C. Si tomamos en cuenta los resultados preliminares, esperamos mejorar los mismos a 10 - 15 m en planimetría y 20 m en altimetría o menores de ser posible.

Finalmente, para validar la metodología, una vez se tomen los puntos de control GPS, y se haga el procesamiento final de las imágenes, se hará una comparación con datos más precisos, donde se detallaran mejor exactitudes planimétricas y altimétricas.

# COMUNIDAD AYISPAS

BOLIVIA 100 000

HOLA 0341



- 366 -

## LEYENDA

Línea roja  
 Línea azul  
 Línea verde  
 Línea negra  
 Línea amarilla  
 Línea morada  
 Línea naranja  
 Línea púrpura  
 Línea gris  
 Línea blanca



## DESCRIPCIÓN DEL TERRENO

Área total: 100 hectáreas  
 Área cultivada: 80 hectáreas  
 Área forestal: 10 hectáreas  
 Área de pastoreo: 10 hectáreas



Escala vertical: 1:1000  
 Escala horizontal: 1:10000

## RESUMEN DE DATOS

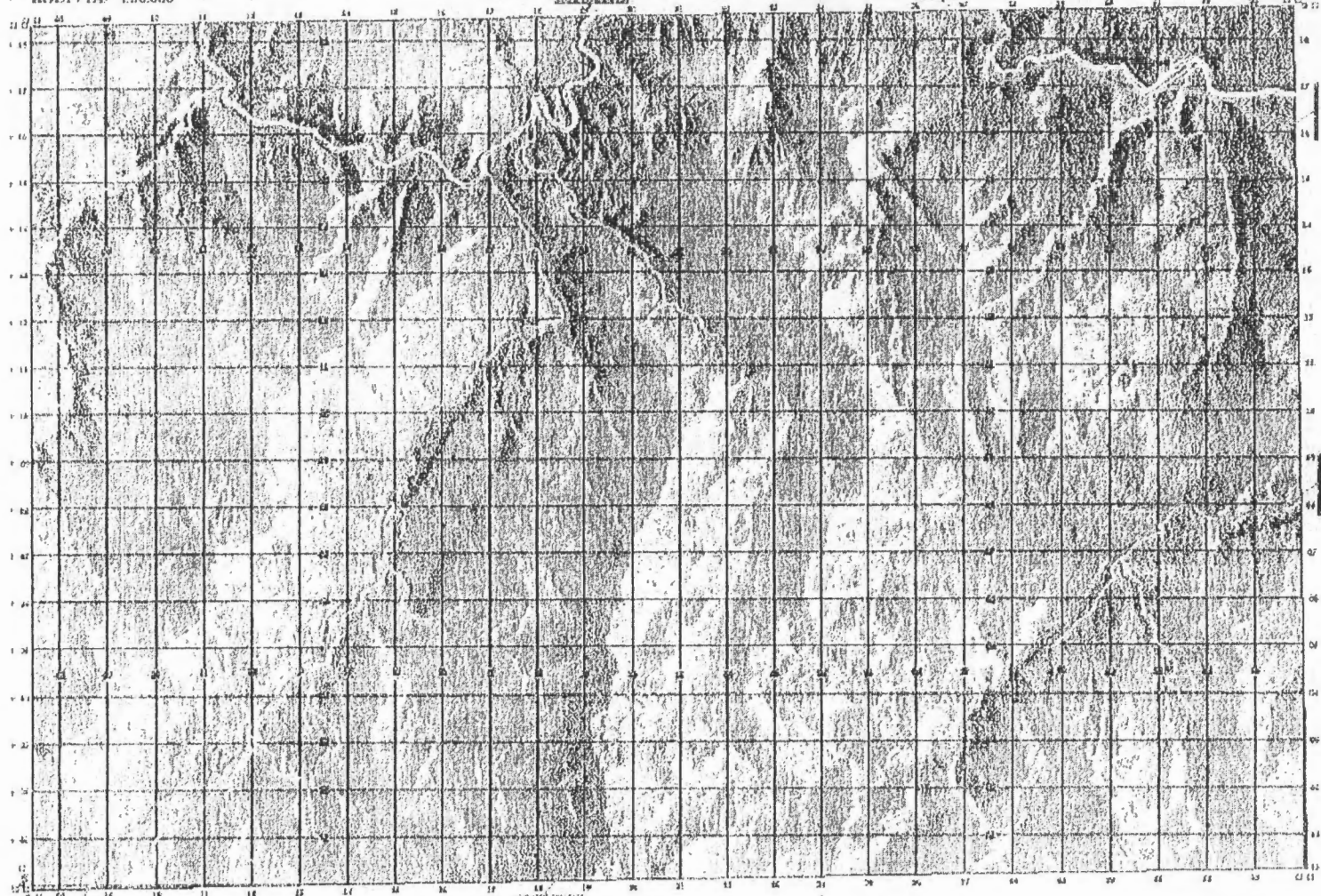
ITEM	VALOR	UNIDAD
Área total	100	hectáreas
Área cultivada	80	hectáreas
Área forestal	10	hectáreas
Área de pastoreo	10	hectáreas



# COMUNIDAD AVISPAS

BOLEIVIA 1:50.000

HOJA 6242 - I



### LEYENDA

Carreteras  
Línea férrea  
Cercos  
Cauces  
Cercos  
Línea férrea  
Cercos  
Cercos  
Cercos



Comunidad Avispas  
Municipio de...

El presente mapa fue elaborado por el Instituto Geográfico de Bolivia, en colaboración con el Departamento de...

Escala: 1:50.000  
Fecha: 1970

El Instituto Geográfico de Bolivia es el organismo responsable de la producción y actualización de los mapas de Bolivia.

INFORMACIÓN GENERAL		
ÁREA TOTAL	1.500.000	HA
CERCA DE	1.500.000	HA
VALOR TOTAL	1.500.000	HA



## ACTUALIZACION DE CARTOGRAFIA NAUTICA ANTARTICA (Etapa Primera)

Héctor A. Salgado  
Proyectista Asociado  
Servicio de Hidrografía Naval - Armada Argentina  
E-mail: [salgado@rina.ara.mil.ar](mailto:salgado@rina.ara.mil.ar)

### RESUMEN

Se presentan los resultados preliminares del Proyecto Globesar # 7 de la Argentina, llevado a cabo por el Servicio de Hidrografía Naval (Armada Argentina), que procura experimentar la aplicación de imágenes SAR RADARSAT para la actualización y complementación de cartografía náutica costera e insular en la Antártida.

Se trabajó con 2 imágenes SAR, en modo Standard, de la zona correspondiente a la Isla Brabante y alrededores (Archipiélago Palmer, al W de la Península Antártica), obtenidas en el verano del 97, en época de fusión de los hielos marinos y coincidente con la Campaña Antártica realizada por el Rompehielos ARA Almirante Irizar.

Como resultado de la interpretación se han localizado diversos tipos de obstáculos a la navegación, que no figuran o que presentan diferente silueta en la cartografía existente.

Se plantean los pasos futuros y consideraciones generales metodológicas.

### ABSTRACT

Preliminary results of the Argentine GlobeSAR Project # 7, carried out by the Navy Hydrographic Service (Argentine Navy), are presented here. The main goal of this Project is to increase our knowledge in the use of SAR RADARSAT images for updating shore and island nautical antarctic cartography.

Two SAR images, Standard mode, are used. The geographical zone is near the Brabante Island, in the Palmer Archipelago, at W of Antarctic Peninsula. They were acquired during the sea ice melt period and in correspondence with the Icebreaker ARA Almirante Irizar antarctic trip, in summer of 1997.

As result of the image interpretation, different types of obstacles, that were not present in or whose shape were different from the previous cartography, have been located.

Methodological aspects, considerations and future developments are summarised in this paper.

### INTRODUCCION

La navegación marítima en la Antártida requiere cartografía náutica detallada y actualizada, razón por la cual la Organización Hidrográfica Internacional (IHO) ha encarado, en coordinación con sus miembros, un plan de actualización de la cartografía antártica a diversas escalas.

Entre las cartas a actualizar por el Servicio de Hidrografía Naval, figura la correspondiente al N del Archipiélago Palmer, a confeccionar en escala 1:150.000, que incluye una amplia zona con islas con cobertura nival permanente, costas escarpadas, islotes, peñones, rocas, canales y estrechos con numerosos obstáculos a la navegación.

Debido a los escasos (y aislados) levantamientos hidrográficos existentes, resulta interesante la posibilidad de incorporar la teledetección satelitaria como herramienta complementaria para enriquecer y actualizar la información náutica, que debe figurar en la carta.

Las imágenes de sensores de microondas satelitarios resultan adecuados para el mapeo de regiones del planeta, donde la cobertura nubosa es frecuente y las condiciones de luminosidad escasas, como ocurre en la Antártida.

En particular, el Radar de Abertura Sintética (SAR), incidiendo con un haz de ondas inclinado, da lugar a imágenes, donde el relieve es resaltado, y consecuentemente, pequeños detalles, como obstáculos y riesgos a la navegación, se tornan más evidentes. Experiencias anteriores, realizadas en la misma zona con imágenes ERS-1 SAR.PRI así lo demostraron, permitiendo detectar rocas (emergentes y sumergidas), zona de rompiente de olas, y otros peligros para la navegación (Mehl et al, 1995).

La utilidad y precisión en cartografía y mapeo de zonas costeras logrados con las imágenes SAR RADARSAT ha sido mostrado en numerosas publicaciones (Staples et al., 1997).

En esta oportunidad se trabaja con 2 imágenes SAR RADARSAT Standard, tomadas con distinto ángulo de incidencia, a los efectos de comprobar su influencia diferencial en la capacidad de detectar los detalles cartográficos pequeños, y, a su vez, discriminarlos de los trozos de hielo flotantes y varados, que abundan en las costas antárticas.

Mediante el procesamiento digital de las imágenes, y su fusión con la cartografía existente, se procura la actualización de la misma, contribuyendo así a la obtención de un mejor producto cartográfico.

## MATERIAL Y METODO

La zona geográfica seleccionada corresponde a la Isla Brabante y sus alrededores, con centro en Latitud =  $64^{\circ} 15' S$  y Longitud =  $62^{\circ} 20' W$ , sobre el Mar de Bellinghausen (Fig.1), la cual forma parte de la ruta de navegación de los buques científicos y de abastecimiento de las estaciones ubicadas al W de la Península Antártica.

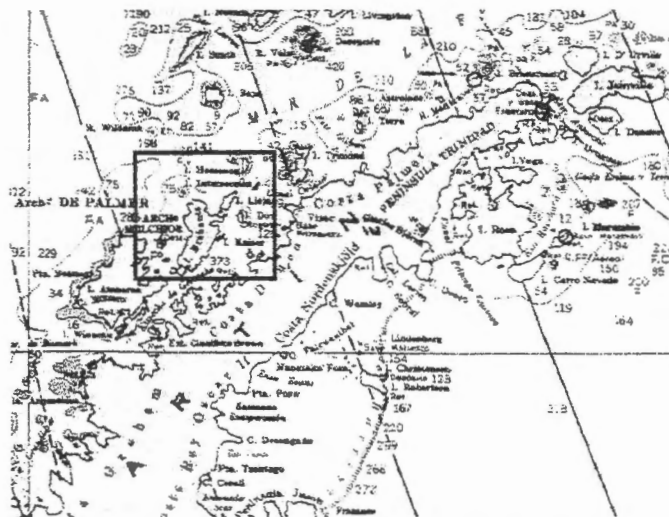


Fig. 1 :Sector de Carta Náutica de la Península Antártica, donde aparece recuadrada en rojo la zona comprendida por las imágenes SAR.

Para la elección de las imágenes RADARSAT (Cuadro 1), se procuró la oportunidad con menor probabilidad de ocurrencia de hielos marinos, que se corresponde con el final del verano, o sea el final del período de fusión de hielos.

Fecha	GMT	Orbita	Modo RADARSAT
6 Marzo 97	23:56	Ascendente	S2 (100 x 100 km. , 24°- 31°)
13 Marzo 97	23:51	Ascendente	S1 ( 100 x 100 km. , 23° )

Cuadro 1 : Imágenes SAR RADARSAT empleadas.

Como información complementaria , se recopilaron datos meteorológicos, de estado del mar y de hielos, provenientes de diversas instituciones (Cuadro 2).

TIEMPO			MAR					
FECHA	TEMP. (T°C)	PRES. (mb.)	VIENTO		OLAS		MAREA (m.)	HIELO (dec.)
			Dirección	Vel.(Nudos)	H (pies)	L (m.)		
6-3-97	+0,5	1000	WSW	10 - 15	2 - 4	20	1,57	0
13-3-97	+1	988	SW	28	10 - 14	75	1,80	0

Cuadro 2 : Condiciones ambientales durante la captura de las imágenes. Fuentes: Parámetros climáticos observados en Estaciones Antárticas ; Olas y marea estimados por Servicio de Hidrografía Naval Hielo marino : mapeo del National Ice Centre (NIC-USA).

Las imágenes fueron procesadas en computadoras PC con procesador Pentium , con los programas EarthView y PCI, obtenidos dentro del marco del Programa GlobeSAR. Se experimentó con los filtros de Lee y de Frost, con lo cual se mejoró el aspecto visual pero algunos detalles quedaron atenuados, razón por la cual se continuó trabajando con las imágenes no filtradas. La georreferenciación se realizó mediante procedimiento de ajuste de mínimos cuadrados a través de una serie de puntos de control costeros con coordenadas geográficas conocidas, aplicando el programa IDRISI (Univ.Clark, 96).

Para efectuar el análisis de detalles se seleccionaron sectores de la imagen (subimágenes-windows), de modo de poder trabajar más dinámicamente y empleando menor espacio en la computadora. Finalmente se posicionaron los detalles nuevos y se compararon con la cartografía náutica existente ( Fig. 2).



Fig. 2 : Sector de Carta H-714 con I. Murray y Pta. Valdivia

## PRIMEROS RESULTADOS Y CONSIDERACIONES

De la visualización de las 2 subimágenes (Fig. 3 y 4) se nota que ambas presentan una serie de detalles, que no están indicados en la carta existente (Fig. 2), y la correspondiente al 6 de marzo es la que muestra la mayor cantidad de ellos (por ejemplo al N de I. Murray , o al NE de Pta. Valdivia ).

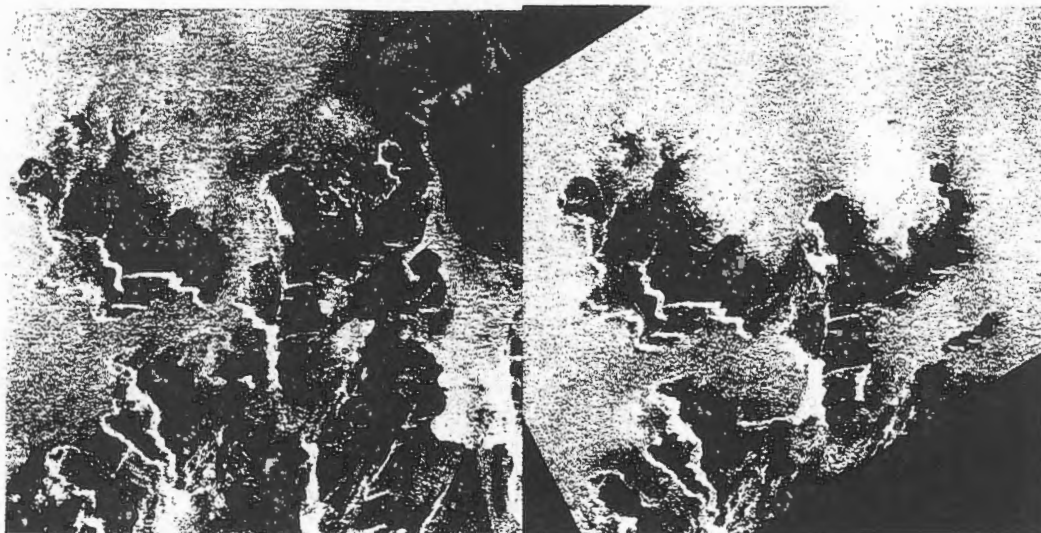


Fig. 3 : Sector de imagen del 6 de marzo del 97

Fig. 4 : Sector de imagen del 13 de marzo del 97

Entre las primeras observaciones, se pueden citar:

- a) Aún cuando en la elección de las imágenes se consideró el estado de la marea prevista, el momento de adquisición no coincide exactamente con la mínima bajamar, lo cual puede ocasionar que algunos detalles no se detecten en las imágenes. No obstante, prácticamente todos los detalles cartografiados se pueden ver en las imágenes, lo cual destaca la capacidad del SAR para localizar objetos aunque estén someramente sumergidos.
- b) La influencia del viento (en intensidad y dirección) se nota principalmente en la imagen del 13 de marzo (con intensidad de 28 nudos - Cuadro 2), reduciendo la capacidad de identificar detalles.
- c) El mayor ángulo de incidencia ( $24-31^\circ$ ) en la del 6 de marzo también podría contribuir a la mejor definición de obstáculos a la navegación.

Finalmente, para poder discernir mejor entre posibles obstáculos y pequeños hielos flotantes o varados, se requeriría otra imagen, alejada temporalmente y en óptimas condiciones ambientales, y con la cual se podría confeccionar una imagen multitemporal.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Mehl H. y Salgado H., 1995 **Aspectos de interés para la navegación antártica interpretados a partir de imágenes SAR/ERS-1**. Revista SELPER, Vol. 11, marzo-junio 95, pp. 29-33.
- Staples G.C., Nazarenko D.M. and Freeberg M.H., 1997 **Coastal Zone Monitoring with RADARSAT**. Sea Technology, August 1997, Vol. 38, N°8, Compass Publications, VA, USA

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Centro Canadiense de Sensores Remotos (CCRS) por la provisión de las imágenes utilizadas en este proyecto a través del Programa GlobeSAR II.

# IMAGE GEO-REFERENCIATION WITHOUT TERRESTRIAL CONTROL POINTS.

A. E. Giraldez

## ABSTRACT

As indicated in the original proposal, the necessary algorithms for geo-referencing using satellite information, (modified and corrected TLE file data), should be created.

At present, this task has been completed, and orbit parameters (time, altitude, latitude, longitude, X, Y, Z and velocity) values are being calculated for a date and time lapse defined by the user, by means of a TLE file.

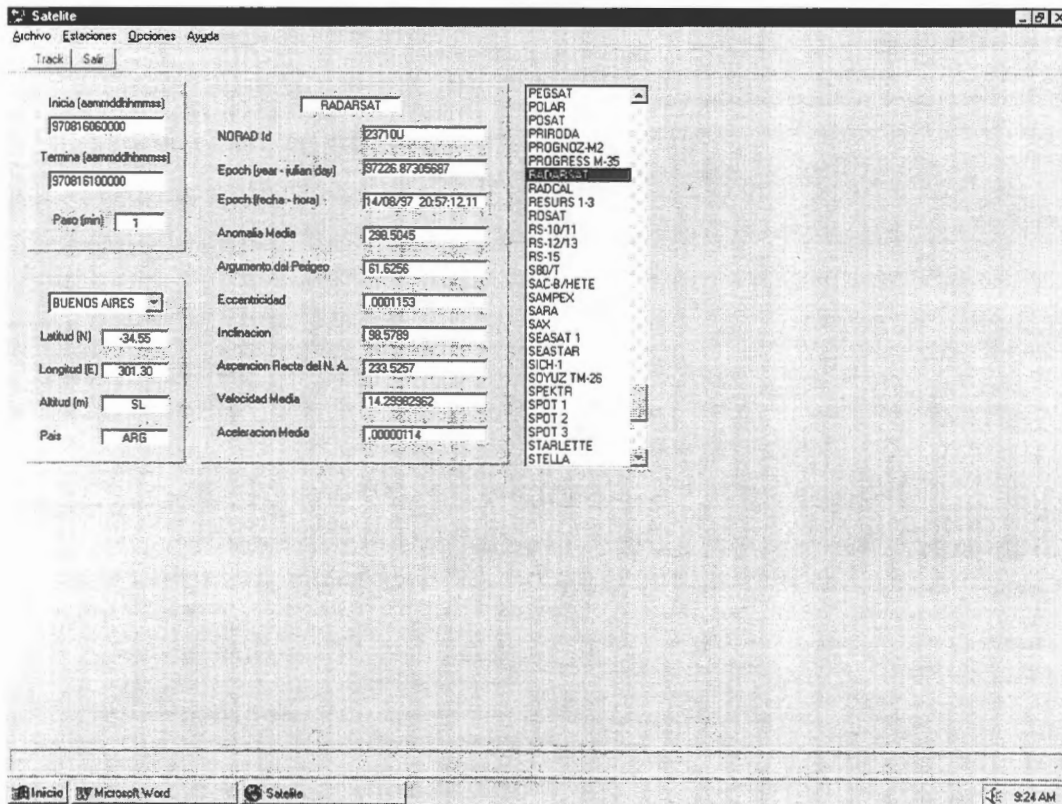
With this information, which can be saved as an ASCII file, we proceed to reconstruct the imaged area, as a function of radar mode.

This area is shown graphically superimposed to a regional map, with the option of including information of cities, towns and villages of the country for a better visual identification.

In the case of having precision orbital parameters, this information can be transferred to the corresponding Image header file to improve the referenciacion.

The advantage of generating corrected TLE information, is not of primary importance for areas where ground control points are available, but it is of great interest for areas where very few if any control points can be identified, as in unpopulated areas, without geographical or man-made visible structures, as well as in oceanic areas.

Three screens of the program, the first showing the parameter selection area (satellite, time etc), a second one showing the output of the generated data file and a third one showing the graphical presentation of the satellite track are shown below.



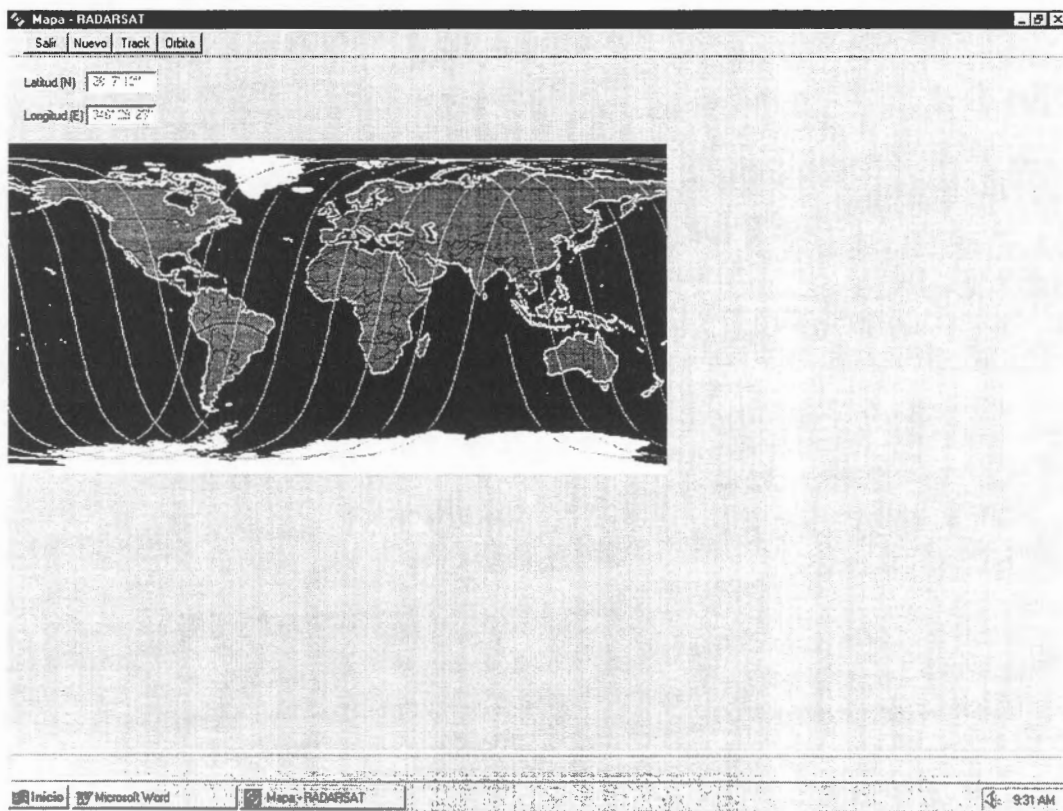


Track - RADARSAT

Archivo Mapa Salvar Print NuevoSalir Pagina 1 de 11

Tiempo	Latitud (gr)	Longitud (gr)	Altura (km)	X (km)	Y (km)	Z (km)	Vel. (km/s)
970816060000	40.99325	-98.43350	791.0896	-793.6201	-5352.724	4702.798	7.456986
970816060100	44.49436	-99.67429	791.0734	-859.3824	-5041.211	5024.463	7.457003
970816060200	47.98584	-101.0415	791.0603	-919.0017	-4709.619	5326.566	7.457017
970816060300	51.46494	-102.5707	791.0504	-972.0771	-4359.289	5607.933	7.457027
970816060400	54.92785	-104.3106	791.0436	-1018.245	-3991.636	5867.466	7.457034
970816060500	58.36914	-106.3305	791.0400	-1057.182	-3608.147	6104.157	7.457038
970816060600	61.78078	-108.7312	791.0397	-1088.605	-3210.372	6317.083	7.457035
970816060700	65.15043	-111.6855	791.0425	-1127.274	-2799.918	6505.415	7.457028
970816060800	68.45828	-115.3729	791.0486	-1172.995	-2378.446	6668.421	7.457019
970816060900	71.67073	-120.2450	791.0578	-1235.615	-1947.657	6805.465	7.457011
970816061000	74.72737	-126.9443	791.0702	-1335.036	-1509.291	6916.015	7.457006
970816061100	77.51315	-136.5965	791.0857	-1426.198	-1065.120	6999.639	7.456990
970816061200	79.80351	-150.9147	791.1043	-1499.090	-616.9368	7056.013	7.456971
970816061300	81.20259	-171.2632	791.1259	-1553.756	-166.5486	7084.919	7.456949
970816061400	81.27067	-164.8572	791.1501	-1500.280	284.2273	7086.240	7.456923
970816061500	79.98068	-143.9762	791.1773	-1308.787	733.5744	7059.976	7.456895
970816061600	77.75467	-129.1230	791.2071	-959.4891	1179.682	7006.227	7.456864
970816061700	75.00365	-118.1129	791.2385	-602.5919	1620.756	6925.204	7.456830
970816061800	71.98658	-112.1630	791.2744	-338.3486	2055.021	6817.222	7.456794
970816061900	68.76587	-107.1629	791.3115	-767.1051	2480.732	6692.702	7.456755
970816062000	65.46555	-103.3856	791.3509	-689.2097	2896.182	6522.167	7.456715
970816062100	62.10104	-100.3907	791.3922	-605.0614	3299.704	6336.244	7.456672

Inicio Microsoft Word Track - RADARSAT 9:25 AM





# **Generación de Modelos digitales de elevación con RADARSAT por el método radargramétrico: nuestros primeros resultados en zona montañosa.**

**Grégoire Leclerc, Nathalie Beaulieu, Javier Puig**

Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.

Tel: 57-2-445-0000 ext 3682.

Email: [g.leclerc@cgnet.com](mailto:g.leclerc@cgnet.com)

**Jaime Jaramillo**

Centro Regional de Estudios Cafeteros y Empresariales, Manizales, Colombia.

## **RESUMEN**

Se describen los resultados obtenidos en la generación de modelos digitales de elevación (MDE) por el método radargramétrico, usando pares de imágenes RADARSAT, para dos sitios en zona montañosa en Colombia y Ecuador. Se analiza la precisión absoluta en elevación y la calidad en vista de la medición de pendientes para determinar la utilidad de estos MDE del punto de vista del usuario. El procesamiento fue realizado mediante el programa RSDEM desarrollado por PCI. El nivel de error obtenido fue variable pero de mucho superior a los reportados en otros estudios. Hemos atribuido estos resultados al carácter "doble-monoscópico" del procedimiento utilizado, en el cual la colecta de puntos de control y la optimización del modelo satelital están realizados de forma monoscópica para cada imagen. En poco tiempo, PCI comercializará un módulo permitiendo la visión y el procesamiento estereoscópico, permitiendo la adquisición de puntos de control y la optimización de los modelos satelitales en forma estereoscópica.

## **Introducción**

Los Modelos Digitales de Elevación (MDE) son una herramienta esencial para la planificación del uso de la tierra en zonas montañosas. Para la mayor parte de América Latina no existen MDE con una resolución suficiente para la planificación a nivel local, y las instituciones planificadoras deben a menudo generarlos en base a curvas de nivel digitalizadas a partir de mapas topográficos, un proceso largo y costoso. Por medio de este estudio, queremos explorar la posibilidad de generar, nosotros mismos, MDEs en base a imágenes de RADARSAT en nuestros sitios ubicados en zonas montañosas.

RADARSAT es el primer satélite equipado de un Radar de Apertura Sintética (SAR) que permita la toma de imágenes de la superficie de la tierra según un modo de adquisición especificado por el usuario. En particular, se puede observar un mismo sitio de varios puntos de vista, o varios ángulos de incidencia y así permitir la visión estereoscópica. La medición del paralaje en el par estereoscópico SAR permite la estimación de la elevación del terreno, de la misma manera que con pares de fotografías aéreas, pero con una geometría de vista particular al radar.

La medición del paralaje y el cálculo de la elevación la puede hacer un operador que interpreta la imagen tridimensional en una estación fotogramétrica digital ('soft copy photogrammetry'), donde las imágenes digitales están desplegadas en una pantalla que permite la visión estereoscópica. El Digital Video Plotter (DVP) es un ejemplo de este tipo de estación fotogramétrica, que puede ser convertido, mediante un módulo radar, en una estación radargramétrica. Según Toutin (1997 a), este método es el que da la medición más precisa de la elevación, alcanzando 5 metros RMS para imágenes de modo fino en vista opuesta (órbita ascendente y descendente), por un terreno de relieve undulado. Sin embargo, es un método extremadamente costoso si se considera el tiempo que tiene que dedicar el operador para medir decenas de miles de puntos de elevación.

El otro método para medición de la paralaje y elevación se basa en la detección automatizada de puntos correspondientes en las dos imágenes del par estereoscópico. Para una ventana móvil centrada en un punto de la imagen izquierda, por el cual se quiere medir la elevación, se busca en la imagen derecha una ventana que corresponde a la primera. Eso se hace trasladando la ventana en la imagen derecha, y calculando la correlación entre las dos ventanas. El punto de la imagen derecha correspondiente al

punto de la imagen izquierda está en el centro de la ventana de la imagen derecha que maximiza la correlación con la ventana de la imagen izquierda. Este proceso se repite para obtener una cuadrícula regular de puntos de elevación permitiendo la generación del MDE. Existen algunos programas comerciales para realizar este trabajo, como el que usan VECSEL (Marra, 1998) e INTERMAP (DeCol *et al.*, 1997, Mercer *et al.*, 1998)), ERDAS (todavía versión beta), y PCI (RSDEM ver 6.2 y pronto por liberarse, OrthoEngine versión 6.2). El programa que hemos utilizado aquí es el primero disponible comercialmente, RSDEM versión 6.2 de PCI. Este programa trabaja en doble-monoscopía, es decir que el modelo orbital de cada imagen está calculado por separado, los puntos de control siendo tomados en monoscopía.

El objetivo de nuestro estudio es producir el MDE más preciso posible usando el método radargramétrico automatizado, para comparar el costo-beneficio de este método con respecto a métodos tradicionales como son la digitalización de curvas de nivel seguida de interpolación, y la fotogrametría en base a fotografías aéreas.

### Materiales y métodos

Pares estereoscópicas de imágenes RADARSAT fueron adquiridas para 2 sitios de estudio que presentan topografía y uso de la tierra distintos. La tabla 1 sintetiza esta información:

**Tabla 1 Descripción de las zonas de estudio y de las imágenes disponibles y usadas (subrayado).**

Area de estudio	Uso de la tierra	Topografía	Información de control	Imágenes RADARSAT
Cuenca Río Angel, Carchí, Ecuador	Páramo (fraylejones), hortalizas, pastizales, tierras degradadas, cultivos irrigados	Alto gradiente de elevación NS, relieve undulado en la parte alta, volcanes, zonas escarpadas en la parte baja	Mapas topográficos escala 1:25000 digitalizados, MED en base a curvas de nivel cada 25m	<u>F1</u> y <u>F4</u> ascendente, F1 descendente; path image plus y procesado por el procesador APP de Atlantis Scientific.
Manizales, Colombia	Café, remanentes de bosque, pastos, páramo, nieve y rocas	Escarpado, alto gradiente de elevación.	Mapas topográficos 1:25,000, MED en base a curvas de nivel cada 100m	<u>F2</u> , <u>F5</u> , <u>S2</u> , <u>S4</u> , <u>S7</u> ascendente path image

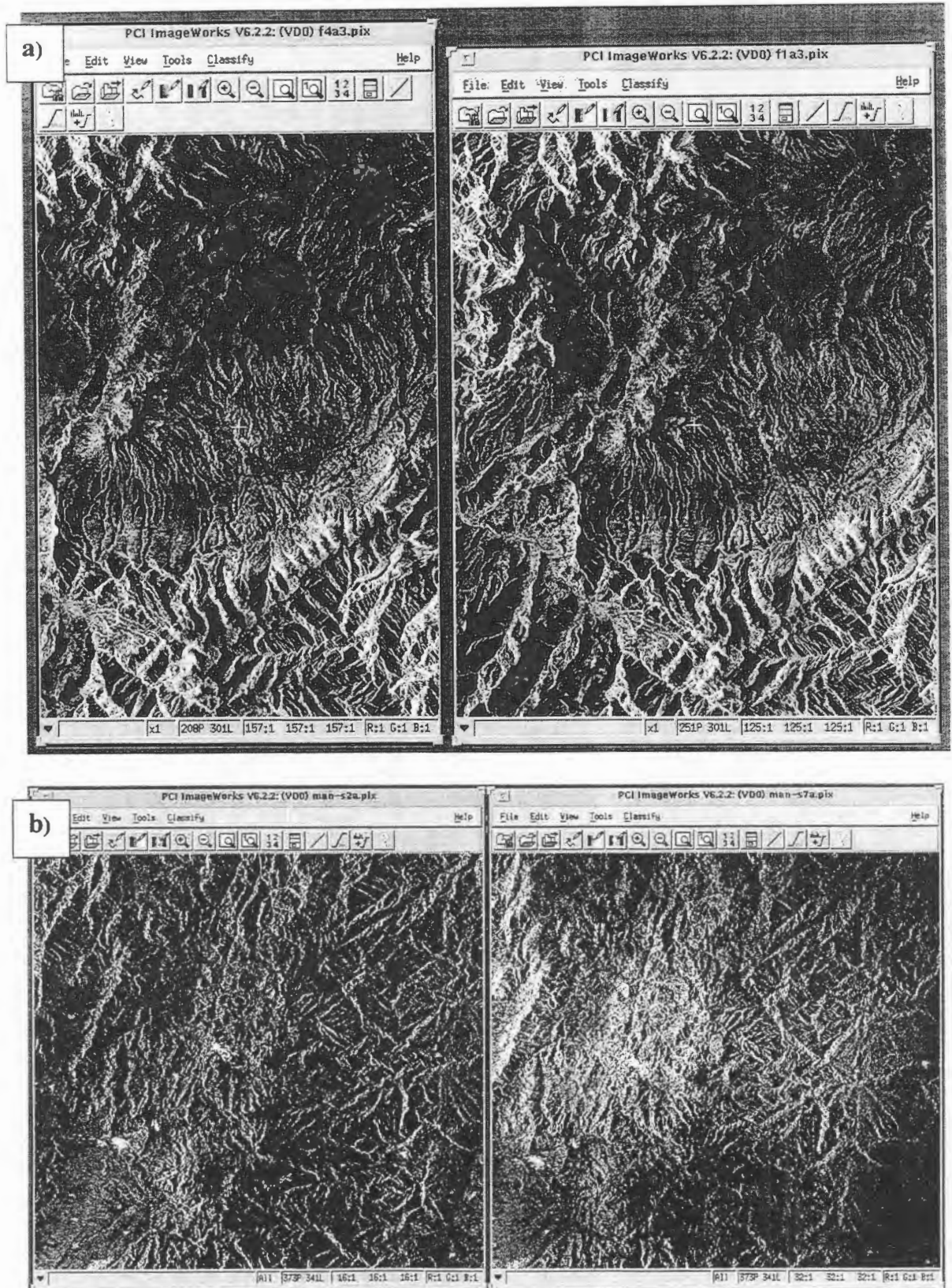
Para la etapa de orientación interna del par estereoscópico, se tomaron alrededor de 100 puntos de control (GCPs) en base a la información cartográfica (principalmente ríos) y se extrajo la elevación de estos GCPs con el MDE generado en base a curvas de nivel. El número de GCPs fue reducido a aproximadamente 50 cuando se optimizó el modelo satelital. El error RMS resultante es del orden de 20-30 m en planimetría. Es importante notar que los puntos de control se tomaron en monoscopía, y que no son necesariamente los mismos en cada imagen del par. La precisión del MDE se determinó con los GCPs y, cuando disponibles, con puntos de GPS y MDE generados por interpolación. Los modelos se generaron a la máxima precisión posible, usando la opción de detalle alto que ofrece RSDEM (significa que las imágenes de máxima resolución se usaron para la correlación), y la opción de interpolar los valores faltantes dentro de una ventana de 50 x 50 píxeles. La figura 1 muestra los pares de imágenes utilizados para generar los MDE.

Se analizaron dos aspectos del procesamiento para determinar la mejor solución de compromiso y la escala del producto final: 1) el efecto sobre el MDE de varios niveles de pre-procesamiento (filtrado, remuestreo, ajustes); 2) del número de GCPs. Existen una infinidad de combinaciones posibles de modos de imagen, de pre-procesamientos y distribuciones de GCPs, así que se necesita alguna exploración antes de arrancar con estudios muy sistemáticos. La Tabla 2 muestra un ejemplo de la terminología usada para los diferentes niveles de procesamiento que hemos ensayado sobre las imágenes para la producción del MDE.

**Tabla 2 Ejemplo de terminología usada para nombrar las imágenes y los MDE generados, según el procesamiento aplicado.**

fla-pip	Imágenes originales modo fino 1 ascendente, path image plus
fla3	Imágenes modo fino 1 ascendente reducidas con promedio de bloques de 3x3
fla-g3	modo fino 1 ascendente al cual se aplicó un filtro gamma 3x3
fla3-g5	Filtro gamma 5x5 aplicado al promedio de bloques 3x3.
fla-app	Imágenes procesadas con APP (valores por defecto)
CAR4-fla-f4a-3g5	MDE producido para el área de Carchí al nivel FINE, cada 4 píxeles, con pares F1-F4 modo ascendente procesadas con promedio de bloques 3x3 y filtro gamma 5x5

Figura 1. Pares de imágenes RADARSAT usadas para generar los MDE de este estudio. (a) F2-F4 modo acendente, Cuenca del Rio El Angel, Ecuador. (b) S2-S7 modo acendente, Manizales, Colombia.



## Resultados

### Cuenca del Río El Angel, Ecuador

Para la cuenca del río El Angel, en Ecuador, la sensibilidad del modelo estereoscópico es de 1.9m en elevación por cada metro de diferencia de paralaje en la dirección del barrido, y 0.4m/m en la dirección del azimut. Los MDE obtenidos presentaron errores sistemáticos del orden de 66 m a 125 m con respecto a los GCPs y hasta 200m con respecto al MDE de referencia (ver Figura 1b). Para poder comparar los MDE con más detalle, se redujo el error sistemático ajustando el MDE a los GCPs mediante el programa ADJDEM, lo cual calcula un modelo de regresión bidimensional entre la elevación de los GCPs y la elevación del MDE. El error después de un ajuste cuadrático fue del orden de 30m. La Tabla 3 presenta las estadísticas univariadas de la diferencia entre el MDE generado por pares RADARSAT y el generado por interpolación de curvas de nivel (escala 1:25,000 curvas cada 25 metros: Figura 1a, Figura 1c). Los valores están en metros, los números subrayados son los mejores obtenidos. Los valores de desviación estándar son mucho más altos que los obtenidos en otros estudios similares (del orden de 40 m en el caso de Vexcel e Intermap). Es posible que la cartografía sea de dudosa precisión, lo que vamos a averiguar con GPS geodésicos en el campo en los próximos meses. Sin embargo, el solo hecho de obtener valores de elevación diferentes según el nivel de pre-procesamiento muestra que el método no es muy robusto.

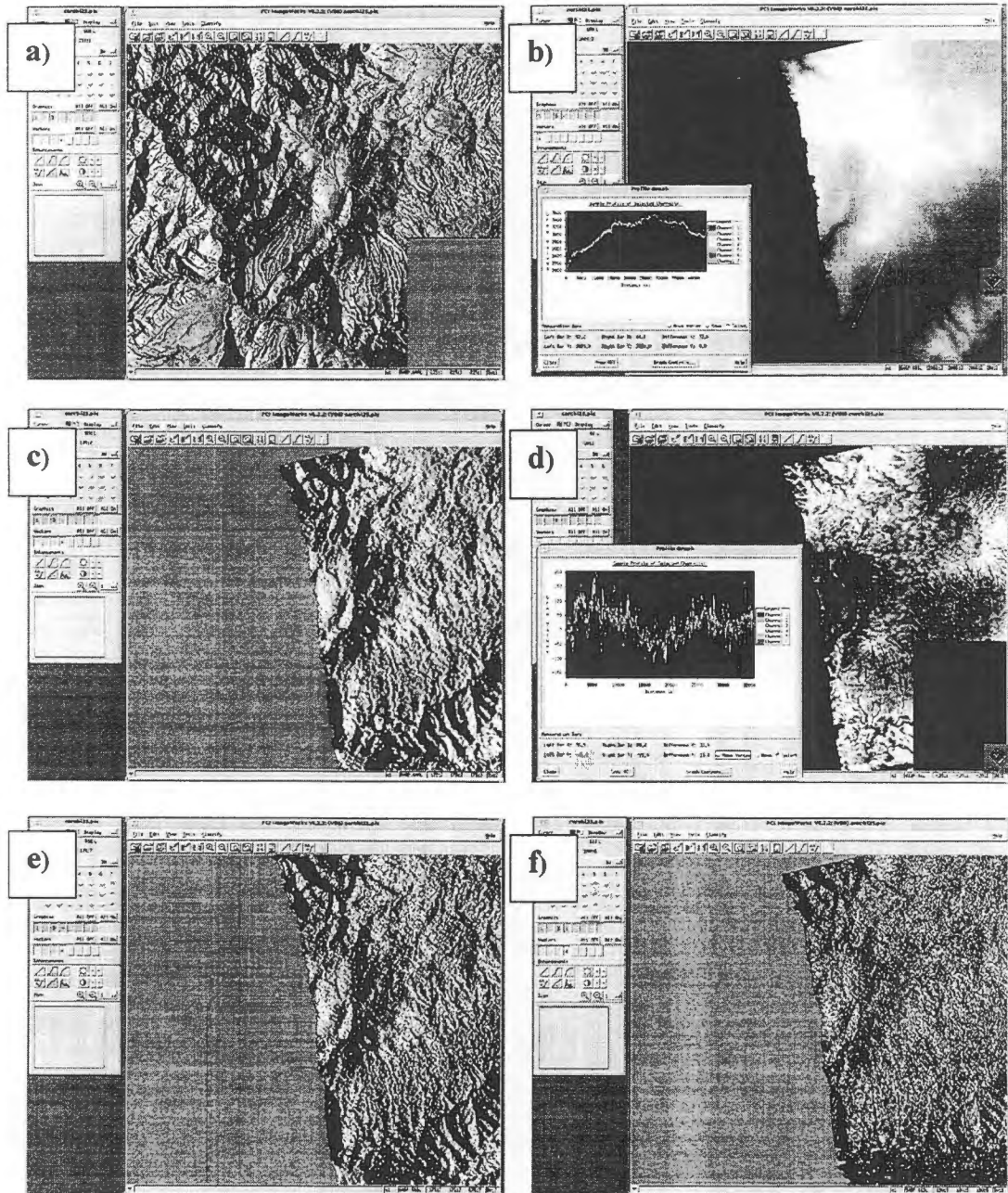
Cuando se genera una imagen artificial del sombreado (Figura 1d), se puede detectar una rugosidad que no se aprecia tan bien con los números de la tabla 3. La extensión espacial de estos artefactos depende del tamaño de pixel: como regla empírica, se puede decir que la extensión espacial del ruido es 30 veces el espaciamiento entre pixeles y su amplitud es de 10 hasta 50 metros (ver figura 2 c, e y f). Por eso el MDE obtenido con imágenes Path Image Plus (pixel de 3.25m) presenta un aspecto más real ya que la frecuencia del ruido es mas grande que la de los elementos morfológicos de interés. Por esta misma razón, el filtrado de este MDE será más exitoso. Dada la rugosidad de los MDE obtenidos, la escala utilizable más segura para el par f1-f4 es zona montañosa es del orden de 1:100,000 (pixel de 100 metros) con imágenes Path Image Plus, y 1:200,000 con imágenes Path Image (pixel de 6.5 metros).

**Tabla 3 Error del MDE (ajuste cuadrático) con respecto al MDE de referencia, Carchí. Efecto de varios niveles de pre-procesamiento.**

	CAR4-f1a-f4a-3g3	CAR4-f1a-f4a-3	CAR4-f1a-f4a-3g5	CAR4-f1a-f4a-pip	CAR1-f1a-f4a-3	CAR4-a1a-f4a-app
Promedio (m)	38	51	46	<u>15</u>	59	30
Mediana (m)	33	32	32	<u>19</u>	59	<u>18</u>
Desviación Estandar (m)	<u>47</u>	110	91	78	62	90
Ancho 1/2 max (m)	80	75	85	80	120	<u>70</u>
Esp. pixel imagen (m)	9.75	9.75	9.75	3.25	9.75	6.5
Número de miradas	7	1.8	14	1	1.8	1
Esp. pixel MDE (m)	39	39	39	13	9.75	26



Figura 2: (a) Sombreado del MDE de referencia para la cuenca del río El Angel, escala 1:25,000. (b) Modelo CAR4-f1a-f4a-3g3; el cuadro muestra un perfil del los MDE de la Tabla 3. (c) Diferencias entre CAR4-f1a-f4a-3g3 ajustado a los GCPs y el MDE de referencia. El cuadro muestra un perfil de la diferencia, para todos los MDE de la tabla 3. (d) Modelo sombreado de CAR4-f1a-f4a-3g3. (e) Relieve sombreado de CAR4-a1a-f4a-app. (f) relieve sombreado de CAR4-f1a-f4a-pip.



## Manizales, Colombia.

En el caso de Manizales, no se investigó el efecto del pre-procesamiento, sino de la propagación de errores en relación con la selección de GCP. Los MDE se generaron en base al par S2-S7 que tiene una geometría ventajosa en cuanto a la estereoscopia, pero desventajosa en cuanto al establecimiento del modelo satelital y a la correspondencia automática entre las imágenes. La sensibilidad del par estereoscópico S2-S7 es de 0.6m en elevación por metro de diferencia de paralaje en la dirección del barrido y 0.13m/m en el dirección del azimut, lo que es 3 veces mayor que con el par F1-F4..

Se puede observar en la Figura 3 (a) que los MDE S2-S7 se desvían considerablemente del MDE de referencia en áreas donde hay escasez de GCPs, y principalmente en la dirección del barrido. El error en la dirección del barrido alcanza los 1000 metros en los extremos si se consideran solamente los mejores GCPs (es decir los que establecen los modelos satelitales con precisión de 30 metros en planimetría, aproximadamente 65 GCP por imagen). Si se usan todos los GCPs para calcular los modelos satelitales (aproximadamente 100 GCPs por imagen), el error en planimetría alcanza los 90 metros, pero el MDE generado se acerca mucho más a la realidad (sin embargo persiste un error máximo de 500m en los extremos).

Gran parte del error puede provenir de la selección de GCPs en intersecciones de ríos, ya que un pequeño error en planimetría resulta en un error grande en elevación si el río esta encañonado entre dos paredes altas. Sin embargo es muy difícil encontrar GCPs en imágenes RADARSAT en modo estándar, ya que otros rasgos terrestres son muy difíciles de identificar.

Para mejorar la interpretación del error del MDE, se analizaron las estadísticas univariadas de la diferencia entre los MDE S2-S7 y el de referencia, solamente en el área donde se encuentran los mejores GCPs (Figura 3 (e)). Los resultados aparecen en la Tabla 4. Un ajuste cuadrático en base a los GCPs por medio del programa ASDJDEM disminuyó el error de elevación calculada en los GCP (de 375 metros a 232 metros RMS), pero no redujo significativamente el error general del MDE.

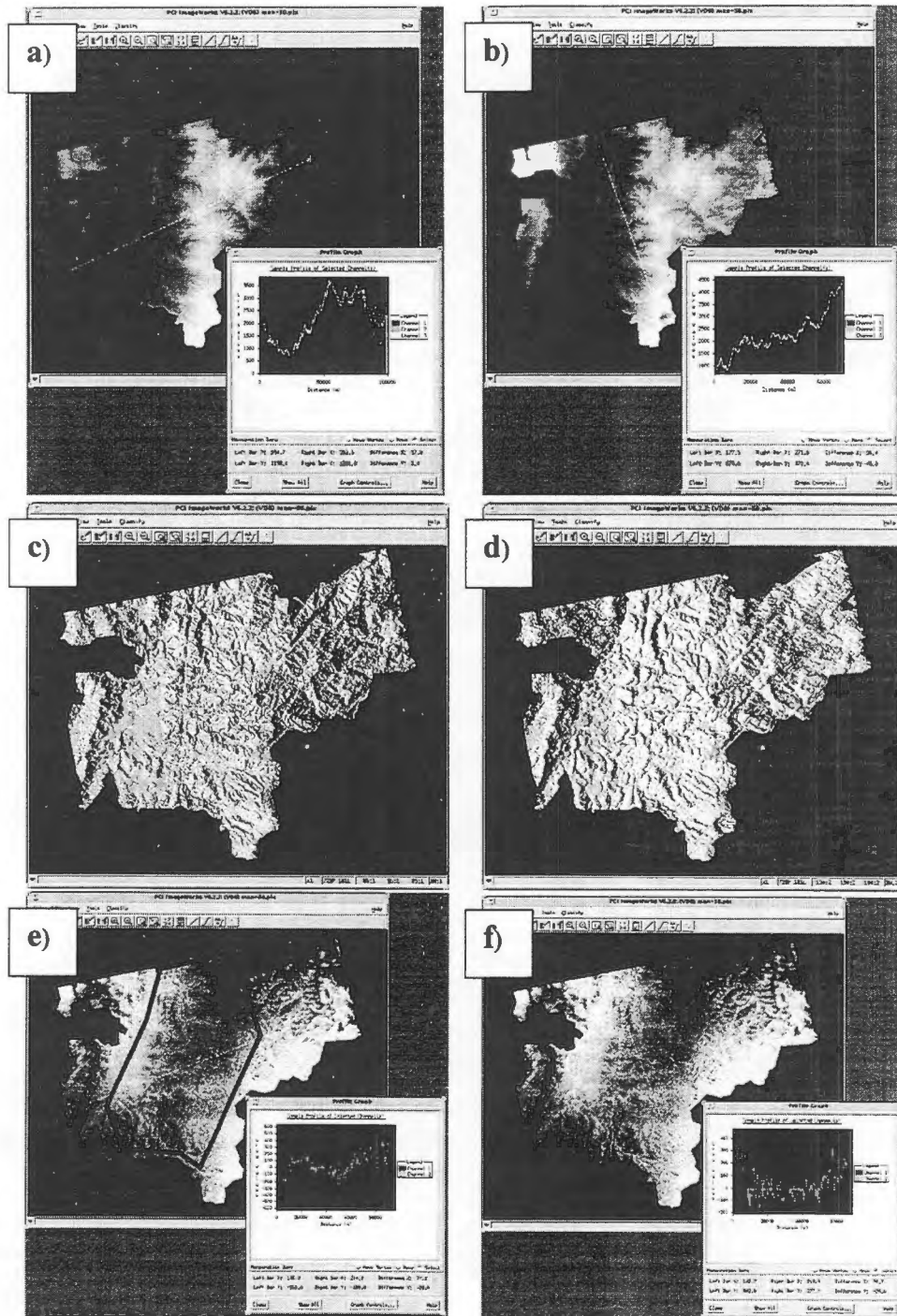
En las áreas de mayor error de los MDE S2-S7, las ortoimágenes generadas usando el MDE de referencia presentaron mucho error en planimetría (hasta 200m para S2, 60m para S7). Esto permite enfatizar que la selección de GCPs es de vital importancia no solamente para lograr precisión en altimetría, pero también en planimetría. Los programas deberían ayudar el usuario en la selección de los GCPs más apropiados, por ejemplo permitiendo la introducción de pesos para los GCPs: un GCP que está en una zona encañonada tendría un peso menor a uno en zona plana, o un GCP en al alcance lejano tendría más peso que un GCP en alcance cercano (donde la distorsión de la imagen es mayor y la ubicación del GCP es menos precisa).

**Tabla 4 Error del MDE (MAN4-s2a-s7a con ajuste cuadrático) con respecto al MDE de referencia, Manizales.**

	Todos los GCP (205)		Mejores GCP (113)	
	Antes de ADJDEM	Después de ADJDEM	Antes de ADJDEM	Después de ADJDEM
Promedio (m)	-5.5	-3.8	10.1	0.9
Desviación estandar (m)	82	106	156	132
Ancho ½ max (m)	260	288	364	312
Mínimo	-2501	-592	-849	-459
Máximo	773	2397	773	1042
Numero de miradas ( <i>looks</i> )	4			
Esp. del pixel imagen (m)	12.5			
Esp. del pixel del MDE (m)	50			



Figura 3. MDE para Manizales. (a) MDE de referencia y perfiles según dos transectos (la línea mas baja corresponde al MED de referencia, la de arriba al MED S2-S7 con mejores GCPs, y la del centro al MDE s2-S7 con todos los GCPs). (b) MDE S2-S7 con mejores GCPs. (c) y (d) Relieve sombreado del MDE de referencia y MDE S2-S7, respectivamente. (e) y (f) Diferencia entre el MDE de referencia y el MDE S2-S7 con mejores GCP, ajuste cuadrático, y perfiles según dos transectos. La línea negra define el área usada para las estadísticas de la tabla 4.



## Discusión

Aunque se pudo generar MDEs en un tiempo muy corto, la precisión de ellos fue menor a la que varios autores describen. Discutiremos aquí de dos aspectos: la precisión de la elevación absoluta (elevación promedio, general), y la calidad necesaria para aplicaciones, en lo que se refiere a la presencia de ruido, que afecta el cálculo de la pendiente del terreno.

### *Precisión absoluta*

El hecho de coleccionar GCPs para cada imagen separadamente (en doble monoscopia) es seguramente la fuente de error más importante. Según los resultados de Toutin (1997a), la minimización del error planimétrico en monoscopia no garantiza el error mínimo en estereoscopia; por ejemplo para un par F2-F4 en zona plana-ondulada, el error en X de 10m y Y en 7m en monoscopia resultó representar un error real de 90m en X, 16m en Y y 71m en Z (estimado con el modelo estereoscópico). Dicho de otra manera, el modelo satelital optimizado en monoscopia es erróneo, y el error se puede apreciar cuando los puntos en monoscopia se utilizan para armar un modelo estereoscópico. La conclusión de Toutin (1997a) es que es primordial obtener los puntos GCP con el apoyo de un sistema de visualización 3D si se requiere un tratamiento ulterior de una pareja estereoscópica, tal como la extracción de información planimétrica o la creación de un MDE. Sin embargo la mayoría de los usuarios no disponen de equipo especializado que permite el punteo y la visión estereoscópica en pantalla. Se debe mencionar que el módulo de generación de MDE del paquete OrthoEngine, que PCI pondrá a la venta próximamente, permitirá el punteo y la visión estereoscópica en pantalla.

En el caso del área de Manizales, por ejemplo, aparecieron errores altiméticos muy altos en zonas donde no habían GCPs (del orden de 1000m), a pesar de tener una gran cantidad de GCPs razonablemente distribuidos. La reducción del número de GCPs basado el reporte de los errores RMS en planimetría del modelo satelital resultó en un aumento del error del MDE. Quizás con mucha paciencia y muchas pruebas (creando ortoimágenes por ejemplo), se podría reducir este error. Próximamente, volveremos a definir nuestros puntos de control usando la visión estereoscópica, y estudiaremos el aumento de precisión obtenido. ¿Pero no será peligroso tratar de establecer un modelo satelital en función de puntos de control que son tan difíciles de adquirir en imágenes de radar en zonas montañosas? DeCol *et al.*, 1997 y Mercer *et al.* mencionan que la compañía INTERMAP logra una precisión absoluta de menos de 40 m sin el uso de ningún GCP previamente a la correlación de las imágenes. Por otra parte Toutin (1998) menciona que el conocimiento del órbita de RADARSAT no es suficientemente preciso para lograr una alta precisión sin GCPs. En efecto, cuando se ajusta periódicamente la órbita de RADARSAT (lo que se llama "orbit burn"), los datos de órbita no son confiables y entonces los GCPs son esenciales para establecer un modelo satelital.

Es fundamental que el usuario conozca los factores que influyen en la propagación de errores en un modelo satelital. La dificultad de encontrar GCPs en una imagen RADARSAT hace que la distribución de los GCP puede ser inapropiada y el MDE generado puede tener errores grandes. En áreas de difícil acceso o de cartografía dudosa, el número de GCPs que se puede coleccionar será mínimo, y entonces los MDE serán de muy baja precisión. El relieve alrededor de un GCP es un factor determinante, así como el tipo de imagen y la posición en alcance. Es necesario que el software provee al usuario más herramientas para evaluar la precisión de un GCP y su efecto en la precisión final, tanto en planimetría como en altimetría. Es importante mencionar que a pesar de usar un MDE a escala 1:25,000 para generar las ortoimágenes de la zona de Manizales, resultaron algunas zonas con un error en planimetría hasta de 60m (S7) y 200m (S2). Es la misma manifestación, en planimetría, del efecto discutido por Toutin (1997a), pero tiene consecuencias grandes ya que en la mayoría de los casos las ortoimágenes se generan en monoscopia.

### *Calidad*

Nuestra aplicación de los MDE exige una buena precisión de la pendiente del terreno, más que una precisión en elevación absoluta. Los algoritmos para la correlación de las imágenes y llenado de valores faltantes resultaron extremadamente robustos: como se puede ver en los MDE de Manizales, casi no existen áreas donde no se pudo determinar la elevación, a pesar de las disparidades radiométricas y geométricas entre las imágenes S2 y S7. Sin embargo los MDE realizados con las imágenes de modo fino contenían un ruido de alta frecuencia con amplitud variando entre 10 y 50 m, y una extensión espacial de 30 veces el espaciado entre los píxeles de las imágenes usadas para

generarlos. Este ruido puede ser filtrado de tal forma que la pendiente sea confiable. Hemos estimado las escalas máximas a las cuales los MDE derivados se prestarían a nuestras aplicaciones: 1:100,000 para fl-f4 path image plus, 1:200,000 para fl-f4 path image, 1:200,000 para S2-S7 path image. Sin embargo, estamos muy abiertos a la discusión y a sugerencias sobre maneras de disminuir el ruido sin perder el detalle en los MDE, para poder trabajar a escalas más grandes. Marra (1998) menciona que el procesamiento de imágenes estereoscópicas es muy sensible a aproximaciones geométricas inferiores al espaciamiento de los píxeles, y que imprecisiones geométricas que no afectan la mayoría de las aplicaciones producen en rizados o ondulaciones no deseables en los MDE producidos por estereoscopia. La corporación Vexcel ha desarrollado su propio procesador de imágenes RADARSAT para mejorar la precisión geométrica de las imágenes y entonces la calidad de los modelos digitales de elevación producidos.

Se debe mencionar que la utilización de productos Path Image Plus presenta una ventaja para el modo fino por que en pos productos Path Image, el muestreo no alcanza obedecer al criterio de Nyquist, i.e. tener dos muestras para cada célula de resolución. En el caso del modo Estándar, el muestreo de los productos Path Image ya obedece al criterio de Nyquist, lo que hace que un sobremuestreo no presenta tanta ventaja como en el caso del modo fino.

### Conclusiones

Los MDE que hemos obtenido no presentaron una precisión absoluta comparable a la que reportan otros autores (Toutin, 1997 a, b y c, De col *et al*, 1997). Atribuimos esto al hecho que los puntos de control fueron definidos monoscópicamente en cada imagen (doble monoscopia, que es un limitante de las herramientas actualmente disponibles comercialmente), además de que el modelo satelital de cada imagen se optimizó también en monoscopia. Además, no hay que olvidar que estamos trabajando en condiciones de relieve muy pronunciado. En zonas montañosas es bastante difícil encontrar puntos de control bien distribuidos en las tres dimensiones. Pronto, presentaremos los resultados obtenidos utilizando puntos de control definidos estereoscópicamente.

Nos queda por probar la combinación s4-s7 y las imágenes de modos finos para Manizales, vistas opuestas para nuestro sitio en Ecuador, y las imágenes procesadas con la resolución mejorada permitida por el procesador APP de Atlantis Scientific Systems.

### Agradecimientos

Queremos agradecer a la compañía PCI que nos ha prestado una licencia del programa RSDEM para evaluación, y también al programa GLOBESAR-II por la disponibilidad de las imágenes de la región de Manizales. Las imágenes de la cuenca del Río El Angel fueron adquiridas gracias a un convenio CIAT-CONDESAN. Las curvas de nivel de la cuenca del río El Angel en Ecuador fueron digitalizadas por la fundación Ecociencias en Quito. Queremos agradecer a Thierry Toutin por las discusiones muy informativas que hemos tenido con él.

### Referencias

MARRA, M., 1998. Digital Terrain Models: four for \$1.00. Vexcel VISION, Vol. 5, No. 1.. Vexcel Corporation, Boulder, Colorado, U.S.A., p.3.

MERCER J. B., THORTON, S., TENNANT, K., 1998. Operational DEM production from airborne interferometry and RADARSAT stereo technologies. 1998 ASPRS-RTI Annual Conference, Tampa, Florida.

TOUTIN, T., 1997a. Evaluation de la géométrie des images RADARSAT: premiers résultats. Mémoires de la conférence GER'97, disponible en CD-ROM, Centre Canadien de Télédétection, Ottawa, Canada.

TOUTIN, T., 1997b. Value-added RADARSAT products for geoscientific applications. Canadian Journal of Remote Sensing, 23(1), 63-70.

TOUTIN, T. 1997c. Evaluating RADARSAT stereoscopic pairs. Remote Sensing in Canada, vol 25, No. 2. CCRS, Ottawa, Canada.

TOUTIN,T., 1998. Comunicación personal.

DECOL, E., GRIFFITHS, S., THORTON, S, COMIN, L., SPOERING, T., IRVING, R.E.L.,1997. Digital elevation model (DEM) extraction from stereo RADARSAT. 12<sup>th</sup> International Conference and Workshop on Applied Geologic Remote Sensing, Denver, Colorado, 17-19 November, II-485-493.

# QUALITATIVE INTERPRETATION EVALUATION OF RADARSAT-1 FINE MODE DATA FOR URBAN MAPPING PURPOSES

Valerio Barbosa da Silva  
INCRA

Av. André Araújo, 901 Aleixo – Manaus, AM-69060-010, Brasil  
Tel. +55-092-642-3388-R-268 Fax.+55-092-642-3445

## ABSTRACT

The classic mapping method topographic of photogrammetric are the best tool to produce urban map purposes. However those methods consume time and financials resources to perform. Many a time the human occupation planner have not disposable neither a thing nor other and a decision must be make. The satellite images even the RADARSAT-1 arrival could not be used due resolution low. In those images the urban nucleus are displays how a deformed spot. The high resolution of RADARSAT-1 Fine mode images may be a tool more too produce image-map in scale nears cadastral. The objectif of this project is evaluating qualitatively interpretation potential of RADARSAT-1 Fine mode data for urban purposes. After a new investigation will be make to evaluate the planimetric accuracy of RADARSAT-1 data susceptible of occurring.

## Introduction

The planning or re-arrangement of human occupations on the available physical space has been a challenge for many urbanists who have to make use of a large quantity of existing cartographic data in order to achieve their objectives. The urbans centers are characterised for a complex distribution of the blocks, which translates the nature of the contenus environments. Itself can in the gross identify the environments followings: the central nucleus formed by an area with a great density of people, building and asphalt streets, a peripheric zone around this center formatted of residential areas of middle class, small commercial shops, industrial areas, rural areas, green areas and, eventuality a reserved area of urban expansion. In regions where such as the Amazon, where there are cartographic data deficiencies and the cloud cover is difficult problem, when one wants to use photogrammetric methods or remote sensing in the visible strep, which are appropriate for the production of maps in cadastral scale, the use of high resolution C-ban/SAR data can became another tool to achieve those objectives, In this sense, an investigation about the potentialities of RADARSAT-1 Fine Mode images, whose resolution is of 6,25 m (in azimuth and transversal), is necessary. After an image-interpretation subsidised by other existent document the final product can be evaluated qualitatively with a map.

## Area of Study and Materials Description

The cartographic data obtained belong to an urban area in the city of Manaus, Amazon State, Brazil. The test area is of 17,000 hectares and is located between the South meridian of  $03^{\circ}01'20''$  and  $03^{\circ}10'00''$  and between the parallel one of  $59^{\circ}59'40''$  and  $60^{\circ}05'40''$ W.Gr. (figure 1). The maximum difference of elevation is of 60 m., a slightly waving relief.

The materials used were:

- Maps in paper in 1:10:000 scale planimetric and highmetric
- Digital map of Manaus city urban area
- Mosaic of the RADARSAT-1 fine mode image, F5, 7915 orbit from 11 of may 1997 in 1:25:000 scale medium (13X13 Km).
- MAXICAD software.

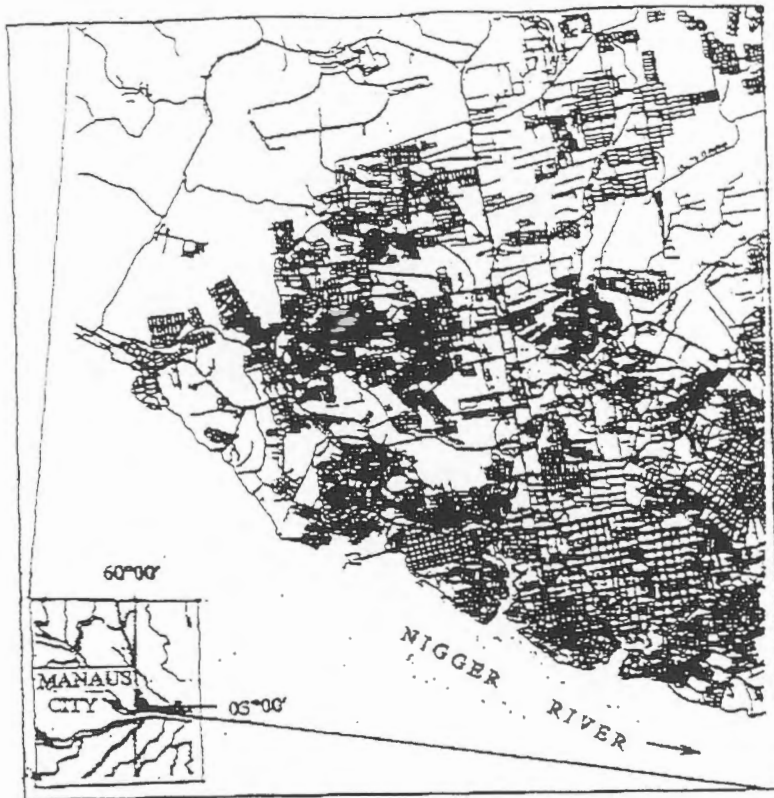


Figure 1 – Manaus City, Brazil.

### **RADARSAT-1 Fine Mode Data Interpretation**

Three main characteristics (Ulaby et al. 1986) used to classify an image and identify specific targets or properties of a scene are: tone, context and texture. The tones of an image are the averages of the local intensities of a given region  $l$ , defined as any segment of a scene in which the properties can be considered spatially uniform. Context in an image means a relation between a given region and the characteristics of the neighbouring regions.

The methodology used for interpreting RADARSAT image in the test area is based on the following steps:

- Choice of feature classes of interest for urban mapping and discrimination or visualising extent, in this case, four classes were chosen: high, medium, low and not visible.
- Table organisation in order to distribute the feature classes of interest. The classes that were not foreseen, but were identified are called added classes and the interpretation itself.
- Confrontation of interpretation results with the maps.

The main classes of interest of an urban mapping that aims at a planning of physical space occupation are:

- Main roads (with two way road and divider 18 m. width); secondary roads (with two way road, 10 m. width); densely built blocks; poorly built blocks (defined arrangement by street); continuous water flow; intermittent water flow; airports and landing strip; urban expansion area; forest.




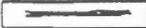
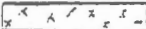


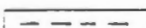
Classes Visibility				
Classes Type	High	Medium	Low	Not Visible
A Priori	Continuous water flow	Secondary roads		Secondary roads
Classes	Airport and landing strip	Forest	Intermittent water	Intermittent water
	Main roads	Densely built blocks	Poorly built blocks	Main roads
	Expansion area			
	Forest			
Classes Added	Naked soil	Carpet grass	Route	Grove
				Public squares

Table 1: Features extracted of the interpretation.

The table 1 shows the visibility degree of those classes previously. It can be note the ambiguity of visibility of almost every class except: Continuous water flow, airport, landing strip, main avenues and downtown blocks densely built. Besides in some region of images, it can be note that there is difficult of showing through graphics. In the case of main road, this difficult is caused by corner reflection associated with the direction of incident beam and direction of constructions. There are cases that main road stays visible but its shade changes of total backscattering until almost pixel saturation. There are cases that main road crosses a region, where there is no backscattering due to a naked Soil or to the penetration of waves into the target, without the appropriate return, both fuse and the road disappears. In those cases become difficult or impossible its draw. In vegetation area the fine texture near always denote carpet grass (between the track of airport).

The figure 2 summarises the results of the image-interpretation.

Figure 2 Legend

	CONTINUOUS WATER FLOW
	MAIN ROADS
	FOREST
	NACKED SOIL
	CARPETE GRASS
	ROUTE

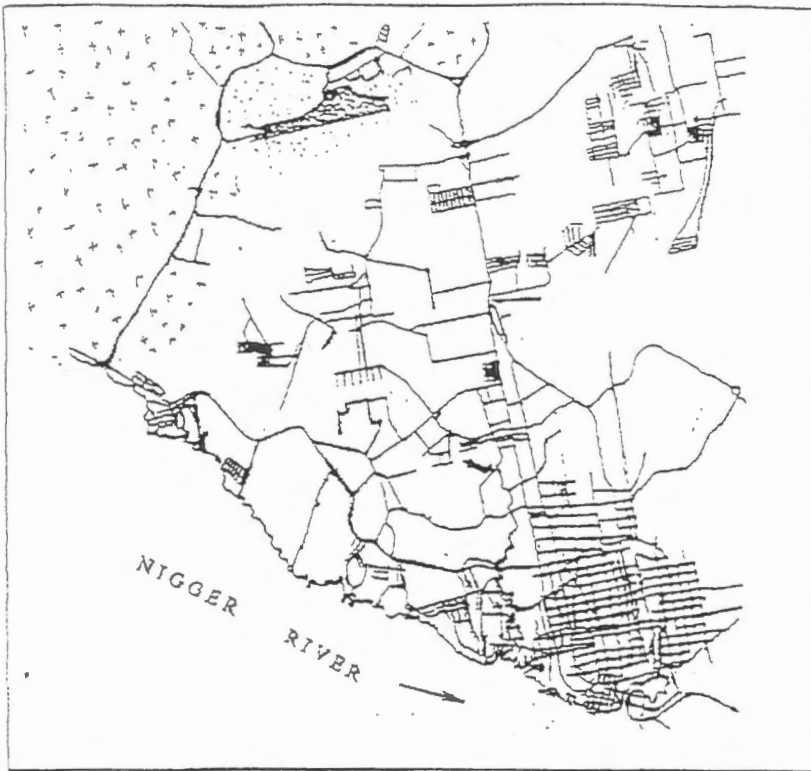


Fig. 2- Main extracted of the image-interpretation.

### Conclusion

The quality of RADARSAT-1 fine mode image of the test site never was achieved before by another identical remote sensor but the high resolution of the sensor SAR itself show with a limited applicability to the urban mapping purposes. For example, the classes with high visibility are those most passibles of utilisation in the urban planning. However, those classes that were of the image extracted itself show in some image region difficulties in their delimitation. In other words we can not warranty that always we could to extract those features.

### Acknowledgements

The author would like to tank for the Dr. George T. L. S. Calado of the INCRA, Dr. Robert Landry and Dr. Ron W. Pietsch of the CCRS, and Dr. Manoel R. Pessoa, Dr. Ubiracy F. de Moura and Mr. Arlindo J. T. Junior of the CPRM.

### Reference

Ulaby, F. T.; Kouyare, F.; Briso, B.; Williams, t. H. Textural Information in SAR images. IEEE Transaction on Geoscience and remote Sensing, 24 (2):235-245, March 1986

**USE OF C-BAND SAR DATA FROM HH AND VV POLARIZATION FOR THE  
QUANTIFICATION OF TOTORA AND BOFEDAL BIOMASS OF NATIVE  
FORAGES IN THE NORTHERN BOLIVIAN ALTIPLANO  
THROUGH C-BAND SAR DATA**

S. Moreau (1), Thuy Le Toan (2) and F. Navia (1-3)

(1) Asociación Boliviana de Teledetección para el Medio Ambiente (ABTEMA)  
Calle Reyes Ortiz No.41, piso 3, Casilla 14248, La Paz, Bolivia, Tel./FAX: 591-2-315220, E-  
mail: abtema@coord.rds.org.bo

(2) CESBIO  
31401 Toulouse, CEDEX, France, Tel: 33-5-61-556671, FAX: 33-5-61-556701,  
E-mail: thuy.letuan@cesbio.cnes.fr

(3) Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina(CONDESAN),  
Calle Reyes Ortiz No.41, piso 3, Casilla 14248,  
La Paz, Bolivia, Tel./FAX: 591-2-315220,  
E-mail: abtema@coord.rds.org.bo

**ABSTRACT**

In the framework of the Canadian GlobeSAR2 project and of the European Space Agency (ESA) Announcement of Opportunity, designed to analyze the potential of RADARSAT and ERS for renewable resources applications, a study has been undertaken to evaluate the use of C-band SAR data, at HH and VV polarizations for the quantification of native forages biomass.

The economy of the Northern Altiplano region is highly dependent upon livestock production which relies on the utilization of native forages. Totora, the dominant native macrophyte around the margins of the Titicaca Lake, and bofedales (saturated pastures or turf) are good fodders due to their digestibility and nutrients content. They are fed to dual purpose cattle as well as to sheep. To optimize the current totora-based feeding systems, a two to three fold increase in the demand for this forage is required to satisfy animal's dry matter requirement. Higher demand enforce a more precise management of this natural resource, to avoid its destruction. A better knowledge of the spatial and temporal pattern of native forages biomass yields, which could not be achieved with optical data, the zoning of vulnerable areas and the implementation of policies geared to guarantee a sustainable use of totora and bofedal are needed.

This paper focusing on the quantification of biomass, presents preliminary results obtained in the Northern Bolivian Altiplano region, using 5 descending RADARSAT images and 5 morning descending scenes from ERS-1 and ERS-2 acquired over a year. Field data were taken during the satellite passes. From calibrated imagery, sigma-nought values have been calculated for 7 sampling areas on the basis of 13 subsampling sites of ground truth. The mean backscatter values have been determined for each plot and analysed as a function of plant biomass on site measurements. Because of the particular structure of the canopy formed by vegetation over a water layer or saturated soil, the ERS backscatter exhibits high values in the case of totora, which can be explained by the VV wave-vertical vegetation-water

interaction, and lower values in the case of bofedal explained by specular effect of the standing water. A relation between totora biomass and ERS backscatter has been found which has not been the case with bofedales. With regard to RADARSAT backscatter, the sensitivity to the vertical structure of totora is not clear since images from multiple angles were used (S3 to S5). With these multiple angles data, no relation between totora biomass and RADARSAT backscatter has been found, as opposed to bofedal with good relation. In order to compare HH and VV polarizations, steeper incidence angles will be isolated in a next step, using only RADARSAT S3 data once available.

Furthermore, an evaluation of the contribution of optical data in the discrimination and mapping of the Totorales and Bofedales native forages has been performed through the use of NOAA-AVHRR data, giving higher correlation between maximum NDVI for the 5 totora and 8 bofedal subsampling sites and their mean biomass. This might be explained by the strong link between vegetation indexes and the pigment activity together with the cell structure characteristic of healthy vegetation. However, these optical data didn't allow the discrimination between totorales and bofedales.

# LATE PLEISTOCENE-HOLOCENE LANDSCAPE EVIDENCE FROM RADARSAT IMAGES, SW BUENOS AIRES PROVINCE, ARGENTINA

Gustavo A. Martínez & Jorge Martínez Arca

Centro de Geología de Costas y del Cuaternario, C.C. 722, 7600 Mar del Plata, Argentina. Fax: 54 23 753150. E-mail: gamarti@mdp.edu.ar

## INTRODUCTION

The "Pampas Plain" region of Argentina comprises a large area in the central part of the country. It is known as a very flat area covered with aeolian silt deposits (like loess) of the Cainozoic age. This area constitutes one of the most important plains in the world from the agricultural point of view. During many years the landscape was interpreted as a "loess sheet" but the use of satellite image has come to a new interpretation: that is a dune field. Climatic changes are strongly related with the landscape development. That is, glacial periods with drier and colder conditions with aeolian activity. Interglacial periods are related with landscape stability and soil formation.

The GlobeSAR 2 project N° 22 "Geomorphology and Late Cainozoic Geology of the Northern Side of Tandilia Range, Buenos Aires Province, Argentina", lies in the southeastern part of Buenos Aires province (38°06'S, 57°40'W) (Fig. 1). The main objective of this project is to generate information to make a model of the present and past geomorphology of the area. The study of old landforms as well as the environmental conditions and spatial variability that took place in that period, are valuable and essential evidence for the reconstruction of ancient landforms. The knowledge of the soil-geomorphology relationship will provide criteria in order to get a better land-use planning as regards specific requirements of a productive system.

Finally, we intend to establish the climatic oscillations in the region during the Late Cainozoic and correlate glacial and interglacial intervals as well as stadials and interstadials periods. Paleoclimatic data will provide accurate information for the understanding of the global change.

## GEOMORPHIC SETTING

Landsat (MSS & TM) and Radarsat images allow to differentiate three main geomorphological units: Ranges, Perirange Eolian Fringe and Fluvioeolian Plain (Martínez, 1997). The Ranges consists of a group of table-like hills of flat summit. These elevations are composed of subhorizontal quartzite strata of Lower Paleozoic age (Balcarce Fm, Dalla Salda & Iñiguez, 1979). Accumulations of talus detritus which constitute a belt of colluvial deposits occur at the foot of the ranges.

Perirange Eolian Fringe comprises the intermountain areas and extends up to the 60 m contour line. It is characterized by a system of hills up to 60 m high with a complex morphology. These elevations either occupy the valleys or are situated against the ranges.

The Fluvioeolian Plain extends from the 60 m contour line to the sea. This unit is a landscape of very low relief characterized by longitudinal and parabolic silty dunes (Fig. 2) and deflation ponds. A drainage system made up of short and subparallel streams is superimposed to that relic landscape.

Late Cainozoic sediments cover the intermountain and plain areas, and sometimes the horizontal summits of the ranges. This Late Cainozoic succession is composed of both depositional facies (loess) and postdepositional facies (paleosols and calcretes). Most of the loess is eolian or reworked silt of volcanoclastic origin derived from the Andean region immediately to the west (about 1100 km length). Ameghino (1908), Frenguelli (1957), Tapia (1937), Tricart (1973) and Fidalgo y Tonni (1981) were among the first scientist to discuss the stratigraphy of this loess deposits.

## METHODS

Image analysis techniques appear to be one of the best tools for geomorphological mapping in the area since the main landforms (paleodunes and drainage features) are barely visible on the ground because of their low relative relief and dense grass cover.

There are two Radarsat images available for this project, both in Fine Beam Descending (F2 & F4), as

well as other images in Standard Mode belonging to other GlobeSAR projects in the same area. It is possible to achieve the enhancement of landforms in large and mid-scale through digital processing.

### Imaging Processing

The whole process has been done using PCI software, and this can be scheduled in preprocessing, georeferenciation, enhancement and integration.

**Preprocessing.** In order to calibrate data for both effects of differing illumination across the swath and the processor induced scaling and offset, we perform two separate tasks: SARINCD, to recover the information of incident angles and SARSIGM, to correct the image. As the images we deal with are of one look, we ought to filter it, to make easier the georefering process. For this task we tried many adaptive and non adaptive filters in order to enhance the data through trial and error. We found that the FEFROST filter with a 5 X 5 kernel 5 suited our needs best.

**Georeferenciation.** For this process we chose the image to map method. As geometry and projection must be equivalent, and our field data and maps were in Traverse Mercator Projection (Gauss Kruegger), we chose this projection with the International Ellipsoid (1924). Only the GCP Works program was used. A series of ground control points were located on the image and the registration (resampling) was performed with cubic convolution and second order polynomial transformation. The same process was applied to three TM bands, but in this case using the nearest neighbour and second order polynomial transformation.

**Enhancement.** To extract the most information possible for this particular job, we had to do some enhancement processes. The filtering techniques contrasted were FEFROST, FGAMMA, FELEE, FKUAN and FME with different kernels. We chose the FEFROST as the best enhancement. We used predefined look up tables (LUTs).

**Integration of data.** A new colour image was created by fusing the colour component of three TM bands (3, 4 & 5), with the intensity component of a radar image. To do this we used a transformation of the colour space (RGB->IHS->RGB). This product was used for preliminary visual analysis.

All the scaling processes of the radar image (32 to 16 to 8 bits) were performed with the HIS module of PACE aid.

### RESULTS

The Radarsat images analysis allows us to recognize landforms of eolian origin which could not be recognized from Landsat images (MSS and TM). We can best observe this in the Fluvioeolian Plain geomorphic unit which is formed by an assemblage of longitudinal and parabolic silty dunes and deflation ponds. The parabolic dunes are U or V shaped and they are mainly oriented in two directions of dune arms recognized in the area. The first one corresponds to a prior eolian cycle, with an average direction of N 45°E (Fig. 2, upper corner). The second set has a direction N 82° E, and covers the first one. These direccions were due to paleowinds blowing from SW and W because parabolic dunes are strongly related to unimodal winds. The dune's length averages between 3.6 to 26 km. Its width ranges from 40 to 380 m, while its hieght averages from 0.5 to 3 m.

This large stabilized dune field which are now completely vegetated and inactive, must have been active as recently as the last full glacial. Intervals of more active loess transport may be correlated with periods of dune formation. Modern Landscape reflects not only the present climate but also the paleoclimates.

Malagnino (1990) recognized a dune system composed mostly of megaparabolic dunes from Pleistocene and Holocene times in the western part of Buenos Aires province (400 km west from the study area). But in this area the annual precipitation is 100-200 mm less than in the Mar del Plata area. Hence, during the dry periods related with glacial or stadial events, it is supposed that arid conditions were more favourable for dune formation.

The geomorphologic mapping from Radarsat improves our knowledge of the landscape in question since the eolian features (paleodunes) are made more distinguishable. However, for fluvial features, Landsat TM images remains a better tool in this area.

The fluvial pattern is controlled by eolian features, depending on its fluvial energy. Main creeks sometimes cut the arms of the dunes while the tributaries follow the interdune areas.

Main aeolian features such as lunettes and deflation ponds are thought to be Late Pleistocene in age, probably from Full Glacial. However, there is evidence that during the Holocene the landscape was reactivated. The later parabolic dunes in the area correspond to the "Little Ice Age" (Fig 2 and 3) .



Finally, this relic landscape of the Pampas Plain controls the soil-geomorphology relationship and thus the land use. Moreover, it controls the floods which occupy the interdune areas.

#### ACKNOWLEDGMENTS

We gratefully acknowledge To Globesar Program to support this research. Thanks are also extended to M. Tomas, V. Bernasconi and M. Farenga for drawings.

#### REFERENCES

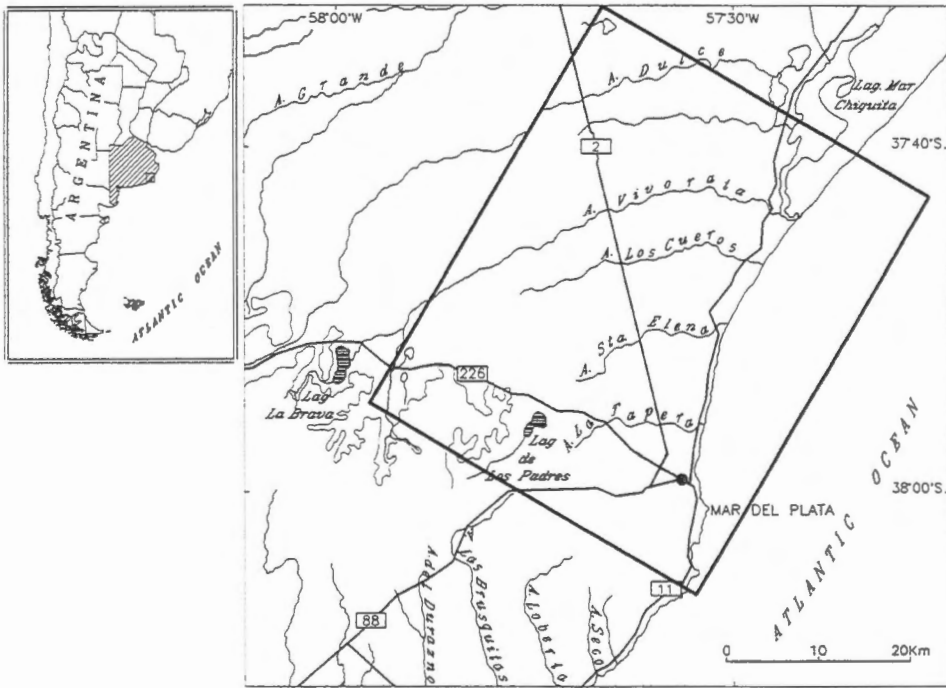
- AMEGHINO, F. 1908. Las formaciones sedimentarias de la región litoral de Mar del Plata y Chapadmalal. An. Mus. Nac. de Buenos Aires, Serie 3a, X.
- DALLA SALDA, L. & IÑIGUEZ, M., 1979. La Tinta, Precámbrico y Paleozoico de Buenos Aires. VII Congr. Geol. Arg., Actas I: 539-550. Buenos Aires.
- FIDALGO, F. & E.P. TONNI, 1981. Sedimentos eólicos del Pleistoceno tardío y reciente en el área interserrana bonaerense. Actas VIII Congr. Geol. Arg. 3: 33-39. Argentina
- MALAGNINO, E.C. 1990. Fossil features of eolian origin, Buenos Aires province, Argentina. Deserts. Past and Future Evolution. IGCP 252. Scientific Reports: 63-66.
- MARTINEZ, G.A. 1997. Geomorphology and Late Cenozoic geology of the southern side of Tandilia Range, Buenos Aires province, Argentina. Internatinal Symposium Geomatics in the Era od Radarsat. Expanded Abstracts: 482-483. 25-30 de mayo de 1987, Ottawa, Canadá.
- FRENGUELLI, J., 1957. Neozoico en Geografía de la República Argentina, II, GAEA, Soc. Arg. Est. Geogr., 3: 1-218.
- TAPIA, A. 1937. Las cavernas de Ojo de Agua y Las Hachas. D.N.G.M., Boletín Nro. 43. Buenos Aires.
- TRICART, J.L., 1973. Geomorfología de la pampa deprimida. INTA. Colección Científica N XII.

#### FIGURES

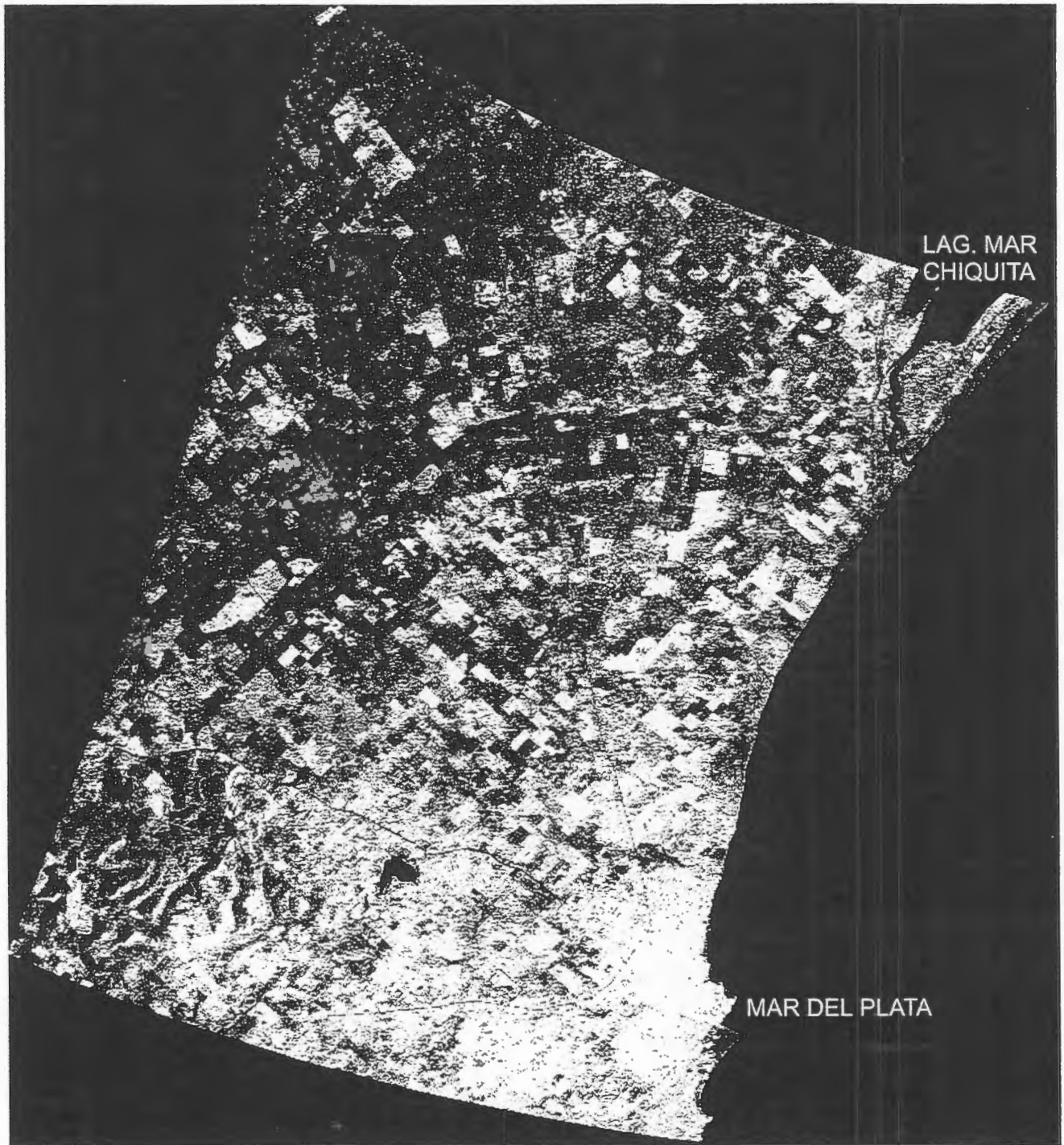
Fig 1. Study Zone

Fig 2. Radarsat image Bean Fine 2, FFROST Filter (5x5), belonging to the area which is marked in Fig. 1.

Fig 3. Radarsat image Bean Fine 2, FFROST Filter (5x5), correspond to the Fluvioeolian Plain geomorphic environment. The lighter W-E trends correspond to longitudinal and parabolic dune arms, belonging to last eolian depositional cycle (Late Holocene).



Beam F2 doble FEFROST 5 x 5



Beam F2 Subset Cobo



# EVALUACIÓN DE LA CINERGIA RADARSAT Y LANDSAT-TM EN LA ACTUALIZACIÓN DE MAPAS DE USO Y COBERTURA DE LA TIERRA EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO TEMPISQUE, COSTA RICA.

Jorge Fallas

Laboratorio de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica  
Escuela de Ciencias Ambientales y Programa Regional en Manejo de Vida Silvestre  
Email telesig@una.ac.cr WWW.una.ac.cr/ambi/telesig/

## RESUMEN

El proyecto pretende evaluar las bondades y limitaciones de las imágenes del satélite RADARSAT (banda C) en la actualización del uso y cobertura del suelo en la cuenca baja del río Tempisque, Guanacaste. La zona seleccionada para ejecutar el proyecto es de topografía plana y se caracteriza por pequeñas manchas de bosque semidecíduos y perinnifolios (remanente y secundarios), inmersos en un paisaje dominado por áreas de pasto, cultivos de caña de azúcar, arroz y humedales. Los datos de radar serán corregidos geoméricamente, filtrados, realzados y posteriormente analizados visualmente. También se aplicarán técnicas de clasificación basados en análisis textural. Posteriormente los datos serán combinados con una imagen TM y analizados nuevamente utilizando técnicas de clasificación supervisadas y no supervisadas. La exactitud de la clasificación será evaluada utilizando una matriz de confusión y el índice Kappa. La información de campo será referenciada utilizando un GPS (Sistema de posicionamiento Global en modo diferencial). Los productos esperados del proyecto son un mapa de uso/ cobertura de la tierra así como una valoración de los factores que inciden en la capacidad de discriminación de uso/cobertura del radar de banda C por sí solo y en combinación con imágenes TM. La investigación forma parte del Proyecto GlobeSAR Costa Rica-Canadá.

## Introducción

El monitoreo del cambio en el uso/cobertura de la tierra es una área de investigación que cuenta con una larga tradición a nivel mundial (Adeyini, 1985; Anderson, 1971; Tucker et al., 1984). Los sensores óptico-mecánicos (Ej. TM, SPOT, IRS) se han utilizado con buen éxito en el mapeo de áreas forestales, agropecuarios y urbanas, tanto en latitudes extratropicales como tropicales. Sin embargo, en los trópicos la alta nubosidad limita severamente la adquisición de imágenes con una escasa cobertura de nubes. Esta limitante también aplica a las fotos aéreas. Los sistemas de radar satelitales ofrecen varias ventajas sobre los sistemas aerotransportados, siendo los principales el acceso de datos a nivel mundial y su capacidad de penetrar nubes (Lillesand y Kiefer, 1994). Sin embargo también tienen limitaciones como su baja resolución espacial y radiométrica. La sinergia entre los sensores ópticos y el radar es un área que ha recibido atención en la comunidad científica como un método de tomar ventaja de lo mejor de ambos sistemas sensor. El objetivo de la presente investigación es contribuir a la utilización de imágenes satelitarias de radar y ópticas en el mapeo del uso y cobertura de la tierra en áreas de bosque seco tropical.

### **Area de estudio**

El área de estudio se ubica en la cuenca baja del río Tempisque, Guanacaste (Lat. 10°25' / Long. 85°25'). La zona cubre aproximadamente 20x20 km clasificadas como bosque seco tropical. Los rasgos predominantes del paisaje son los humedales de Palo Verde, las áreas dedicadas al cultivo de arroz anegado y de secano, las plantaciones de caña de azúcar, las áreas bajo pasto jaragua y diversos parches de bosque seco tropical en diversos estadios de sucesión. La topografía de la zona es plana aunque también se encuentran pequeñas lomerías con elevaciones inferiores a 150-200 m.

### **Datos de radar e imagen TM**

La imagen de radar, suministrada por el proyecto GlobeSAR Costa Rica-Canadá, fue adquirida el 12 de enero de 1998 en modo descendente (Escena No. M0151304). La resolución de la imagen en la dirección paralela a la trayectoria (acimut) y perpendicular (profundidad) es de 12.5 m. El formato del archivo es CEOS y el tipo de datos SGF (resolución fina de SAR georeferenciado). La imagen se adquirió durante la época seca. La imagen TM (path 16 / row 53) corresponde a marzo de 1977 (época seca) y será proveída por FONAFIFO. También se cuenta con fotos aéreas escala 1:60.000 de 1992.

### **Metodología**

#### **Calibración radiométrica**

La calibración radiométrica de la imagen será realizada previamente como parte del Proyecto GlobeSAR Costa Rica-Canadá.

#### **Geocodificación de la imagen de radar**

El proceso de geocodificación consistirá en la selección de puntos de control presentes en la imagen y fácilmente identificables en el campo. La ubicación de los puntos en el campo se hará con un GPS en modo diferencial (error  $\pm 5$  m). La exactitud de la georeferenciación se evaluará mediante el cálculo de error medio cuadrático (RMS). La geocodificación se hará con el módulo 'resample' de IDRISI (Eastman, 1997). Este módulo permite registrar una imagen a un determinado sistema de coordenadas ó otra imagen. El programa provee funciones de interpolación lineales, cuadráticas y cúbicas así como interpolación del vecino más cercano y bilineal para determinar el valor de los atributos en la nueva imagen. Los archivos vectoriales son transformados utilizando la técnica de "papel elástico" (*rubber sheet*). Para evitar los efectos adversos de la topografía (sombras y solapamiento inverso 'layover') se ha seleccionado un área de trabajo relativamente plana. Sin embargo, se tratará de corregir el efecto de pendiente (distancia acortada 'foreshortening') utilizando un modelo de elevación digital (DTM) del área de estudio. El DTM se elaborará a partir de un mapa 1:50.000 y si fuera posible 1:25.000.

#### **Geocodificación de la imagen óptica**

La imagen óptica (TM de Landsat) se georeferenciará utilizando el mismo procedimiento que se aplicará a la imagen de radar.



## **Filtrado de la imagen de radar**

Los filtros que provee IDRISI (Eastman, 1997) se conocen como *filtros en el dominio espacial* ya que se utiliza una matriz de 3x3 o más celdas (kernel) para determinar el valor que tendrá cada pixel en la imagen generada después de aplicado el filtrado. El tamaño del kernel define el número de celdas a utilizar para generar el nuevo valor en la imagen producto. Se evaluará el efecto visual de los siguientes filtros en la imagen:

### **A. Filtro de mediana**

Este filtro utiliza una matriz de 3x3 celdas para extraer directamente el valor de la mediana. Este filtro se aplicará para reducir el moteado brillante (speckle) de la imagen (Blom y Daily, 1982; Eurimage, 1995). Se espera que el filtro homogenice la tonalidad de los diferentes usos/coberturas de la tierra a la vez que mantiene los contornos entre áreas diferentes y preserve la información de textura (CCRS/NRCan, 1997).

### **B. Filtro adaptativo**

Este filtro es una adaptación del filtro de Lee y para aplicarlo el usuario debe indicar el número de desviaciones estándares así como el valor de umbral para evaluar las diferencias entre el valor del pixel y el promedio de la matriz (Eliason y McEwan, 1990; Nezry et al., 1991). Estos valores son utilizados por el programa IDRISI (Eastman, 1997) para decidir si en la imagen producto el valor del pixel homólogo de la imagen insumo debe retenerse o cambiar su valor como producto de aplicar el filtro. Dada la naturaleza adaptativa del filtro se experimentará con diferentes matrices de filtrado y con diferentes umbrales. La imagen de salida mantendrá el valor del pixel central de la imagen insumo excepto cuando se dan simultáneamente las siguientes condiciones:

- El valor del pixel central es superior al número de desviaciones estándares indicadas por el analista. La desviación estándar es calculada para la matriz en evaluación y no para la totalidad de la imagen.
- La diferencia entre el valor del pixel central y el promedio para la matriz en análisis es superior al valor establecido como diferencia por el analista.

El valor del pixel en el mapa producto podrá ser 0 (cero) o el promedio de los pixeles cuyos valores se encuentren entre las desviaciones estándares indicadas por el analista. El manual de IDRISI (Eastman, 1997) sugiere utilizar un valor igual o superior a 1.5 desviaciones estándares como umbral para este valor (cualquier tipo de sensor) y el valor 0 ó 2 a 10 como umbral de diferencia entre el promedio y el valor del pixel central para datos de radar.

Criterio de valoración	Resultado de la evaluación	Pixel central
Valor superior a la desviación estándar	V	
Valor superior a diferencia entre promedio y el valor del pixel central	V	cambia
Valor superior a la desviación estándar	V	
Valor superior a diferencia entre promedio y el valor del pixel central	F	No cambia
Valor superior a la desviación estándar	F	
Valor superior a diferencia entre promedio y el valor del pixel central	V	No cambia
Valor superior a la desviación estándar	F	
Valor superior a diferencia entre promedio y el valor del pixel central	F	No cambia

Si utilizamos el valor 0 (cero) como diferencia entre el pixel central y la matriz de evaluación estamos prácticamente decidiendo de antemano que no consideraremos dicha diferencia, ya que en la mayoría de los casos el resultado de dicha evaluación será verdadera.

### C. Filtro de Lee

Este filtro genera una imagen en la cual el valor del pixel sin moteado es la suma ponderada del pixel observado y el valor promedio de la matriz de filtrado. La ponderación de cada pixel es una función de la heterogeneidad local (Coeficiente de variación).

### Análisis textural

El módulo de análisis textural de IDRISI provee tres categorías de análisis y un filtro direccional.

1. Uso de variabilidad en una ventana móvil de 3x3, 5x5 o 7x7 pixeles para determinar las siguientes medidas: riqueza relativa, diversidad/entropía, dominancia, fragmentación, número de clases diferentes, centro versus vecinos y matriz de comparación binaria.
2. Estimación de la dimensión fractal de la superficie de la imagen utilizando un filtro de 3x3.
3. Calcula la frecuencia de un valor especificado por el usuario en una ventana de 3x3, 5x5 o 7x7 pixeles.
4. Filtros direccionales para el realce de bordes (N, NE, E,SE, S, W, SW,NW)

Una vez calculadas las imágenes para las diferentes características texturales se someterán a técnicas de clasificación no supervisadas.

### **Sinergia entre imágenes de radar y datos de sensores ópticos**

Los datos de radar brindan información sobre la estructura física/textura y dielectricidad de los objetos en tanto que las imágenes ópticas permiten detectar el color y la energía reflejada de los objetos.

### **Realce radiométrico de las imágenes**

Para facilitar la interpretación visual de la imagen se aplicará una expansión del contraste lineal con puntos de saturación.

### **Análisis y clasificación de la imagen**

1. Se reemplazará uno de las bandas del satélite multiespectral por la imagen de RADARSAT. Esta combinación tiene sentido desde el punto de vista de las características espectrales de los sensores (Eurimage, 1995). Luego se procederá a crear composiciones de color y aplicar técnicas de análisis supervisadas y no supervisadas.
2. Análisis de componente principal de la totalidad de las bandas (óptico y radar) y visualización de los 3 primeros componentes. El análisis se realizará con el módulo "PCA" de IDRISI (Eastman, 1997). Este método probablemente proveerá mayor información sin embargo no tiene sentido desde el punto de vista físico. Esta imagen será utilizada para el análisis visual.
3. Transformación HSI (tono, saturación, intensidad) de 3 bandas ópticas (posiblemente una en el espectro visible, una en el infrarojo cercano y otro en el medio), reemplazando la intensidad por los datos de RADARSAT y luego aplicando una transformación inversa a los datos para volver al modelo RGB (Chaves et al., 1991; Harris et al., 1990). Se utilizará el módulo "colspace" de IDRISI (Eastman, 1997) para realizar las transformaciones. AL igual que en el primer caso esta integración también tiene sentido desde el punto de vista físico.

Tono y saturación: contenido espectral de la imagen

Intensidad: componente espacial/rugosidad de la imagen de radar

Las investigaciones realizadas para la combinación de imágenes pancromáticas de SPOT y TM han mostrado que el método tradicional (HSI) tiene algunas limitaciones desde el punto de vista espectral y por lo tanto se probarán también dos métodos adicionales de combinación de bandas (Chavez et al. 1991; Chuvieco, 1996):

1.  $Mp: (2Radar + NDir) / 3$  en donde: NDir representan los valores de uno de las bandas del infrarojo cercano del mapeador temática (TM).
2. Una suma ponderada de la imagen de radar con las bandas de la imagen óptica. La imagen de radar será previamente filtrada para resaltar su componente de textura.

### **Análisis visual**

Las composiciones en color se harán utilizando el módulo 'composit' de IDRISI (Eastman, 1997). El análisis visual consistirá en delinear directamente sobre el monitor los elementos del paisaje que el interprete pueda discriminar (Batista y Tucker, 1991). También se contará con archivos vectoriales del área de estudio para el año 1992, los cuales se utilizarán para comparar y detectar cambios sufridos en la zona. La vectorización se hará utilizando el programa R2V 3.0 (Able Software, 1997.)

### **Trabajo de campo**

La fase de trabajo de campo tendrá como fin responder a dos preguntas:

¿Cuál es la exactitud de la clasificación?

Para evaluar la exactitud de la clasificación se seleccionarán puntos de muestreo al azar. En cada sitio se establecerá una parcela de 25 m de diámetro. El trabajo de campo será apoyado por un GPS en modo diferencial.

¿Cuál es la relación entre la estructura de la vegetación y la retrodispersión del radar?

Para un radar de banda C (5.3GHz) la retrodispersión de los objetos es una función de la estructura de la vegetación, la textura del material y la humedad del suelo. En cada una de las parcelas seleccionadas para evaluar la exactitud de la clasificación se evaluará la estructura vertical de la vegetación (altura total, densidad de copas, volumen de copa y estado vegetativo-caducifolio vs siempre verde).

Los datos serán integrados en el análisis mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (IDRISI / ArcView).

### **Referencias**

Adeyini, P. O. 1985. *Digital analysis of multitemporal Landsat data for land use/land cover classification in a semi-arid area of Nigeria*. Photogrammetric Eng. Remote Sensing, vol. 51: 1761-1774.

Anderson, J. R. 1971. *Land use classification schemes*. Photogrammetric Eng. Remote Sensing, vol. 37: 379-387.

Able Software, 1997. *R2V for windows. User's manual*, version 3.0. Able@world.std.com

Batista, G. T. y Tucker, C. J. 1991. *Accuracy of digital classification versus visual interpretation of deforestation in Amazon*. en Proc. V Simposium Latinoamericano de Percepción Remota, Cuzco, Perú. pp. 407-423.

Blom, R. G. y Daily, M. 1982. *Radar image processing for rock-type discrimination*. IEEE Transactions on Geosciences Electronics, vol. GE-20, pp. 343-351.

- CCRS/NRCan. 1997. *GlobeSAR 2. Tratamiento de imágenes de radar y extracción de información. Libro de trabajo*. Ottawa, Ontario, Canada.
- Chaves, P. S., Sides, S. C., y Anderson, J. A. 1991. *Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT Panchromatic*. *Photogrammetric Eng. Remote Sensing*, vol. 57: 295-303.
- Chuvieco, E. 1996. *Fundamentos de Teledetección espacial*. Rialp. 3ed. España. pp. 304-318
- Eastman, J. R. 1997. *IDRISI for Windows. User's Guide. Version 2.0*. Clark Labs for *Cartographic Technology and Geographic Analysis*. Clark University, Worcester, MA., USA.
- Eliason, E.M. y McEwan, A.S. 1990. *Adaptive box filter for removal of random noise from digital images*. *Photogrammetric Eng. Remote Sensing*, vol. 56(4): 453-458.
- Eurimage, 1995. *User applications of ERS SAR data. Training Course*. ESA/ESRIN. Italy. 28-30 Nov. 1995.
- Harris, J. R., Murry, R. y Hirose, T. 1990. *IHS transformor for integration of radar imagery with other remotely sensed data*. *Photogrammetric Eng. Remote Sensing*, vol. 56: 1631-1641.
- Lillesand, T.M. y Kiefer, R.W. 1994. *Remote Sensing and Image Interpretation*. Third Ed. Wiley and Sons, New York. pp. 648-722.
- Nezry, E., Lopes, A. y Touzi, R. 1991. *Detection of structural and textural features for SAR images filtering*. *IEEE Trans. on GRS*: 2169-2172
- Tucker, C. J., Holben, B. N., Goff, T. E. 1984. *Intensive forest clearing in Rondonia, Brazil, as detected by satellite remote sensing*. *Remote Sensing of Environment*, vol. 15: 255-261.

# MONITORING RICE CULTIVATION IN URUGUAY WITH RADARSAT

Daniel Panario, Ofelia Gutiérrez \*

\*Facultad de Ciencias, Uruguay - Igua s/n, esq. Mataojo, piso 11  
PO Box 10773 - Montevideo - URUGUAY.  
Fax (598-2)525.8617 - Tel (598-2)525.8618/30 int. 129  
E-mail panari@fcien.edu.uy, oguti@fcien.edu.uy

## ABSTRACT

Rice is one of the main crops that Uruguay exports. It had developed initially in the Rio Uruguay floodplain in the north of the country, and then migrated to the southeast in the Laguna Merim basin lowlands. In the past few years, due to more suitable market conditions, technological changes and more favorable weather conditions than the southeast, it has returned to the north. This shift caused an explosive expansion over virgin clay soils (Vertisols). In this region, the soils have steep slopes for cultivating this type of crop and for the available techniques. This particular situation motivated the present project. Some of its goals are the detection of parcels dedicated to rice, to get a precise knowledge about the applied technology, and to determine the crop effects on the environment, particularly the loss of physical properties of the soils and the erosion risk. For the latter, we intend to calibrate the surface roughness component of the backscatter and to include this parameter in the Universal Soil Loss Equation, in order to estimate the potential loss.

The RADARSAT imagery allowed accurate detection of the rice parcels, but weather inconveniences prevented the calibration of the backscatter and the comparison with field roughness measurements. In fact, the raining events at the moment of data acquisitions on September 7th, 1997 and March 17th, 1998, did not allow soil moisture corrections to be accurately measured either.

On the other hand, the soil labor (Laboreo) features collected from the interviews conducted with local farmers did not match the field observations. A fixed number of labors does not exist because, they depend on the precipitation instead performing the whole set of operations every time a precipitation occurs during the growing season that starts in June-July (first labors) and ends in August-September. This determines that in particularly rainy years like the current one (el Niño event) the use of satellite data is not applicable for these purposes.

The overlap of April and September imagery allowed us to measure the reutilization of parcels and the expansion of the agricultural limits for the crop. The soil moisture played a major role in this discrimination. The continuation of this monitoring process over time would allow one to know the utilization intensity on the lands and therefore it would be possible to see the degree of norms compliance, imposed by the Directorate of Soil Conservation, of the Ministry of Agriculture, Cattle and Fishing, with respect to the crop-barbecho rotations. It would also allow one to know the agricultural limit expansion rate, especially over non-suitable soils and to estimate the potential risk of biodiversity loss. An appropriate reformulation of the goals of this project is therefore necessary in order to get maximum benefits from these RADARSAT acquisitions.



**“REMOTE SENSING TECHNOLOGIES APPLIED TO THE STUDY OF THE LAND USE AND LAND COVER IN THE IRRIGATED REGIONS OF THE CULTIVATED VALLEYS IN THE CENTRAL-WESTERN REGION OF ARGENTINA. MONITORING OF THE SOIL DEGRADATION PROCESSES - SALINITY AND HYDRIC EROSION-”.**

**Graciela Salinas de Salmuni  
Guillermo Ibañez  
Mariana Martinelli  
Jose Maraz**

University of San Juan. Laprida 1130 (oeste) 5400 San Juan, Argentina. E-mail: gsalmoni@unsj.edu.ar

**ABSTRACT**

This study is part of the research project “*Land use and land cover of the irrigated zones cultivated in the provinces of San Juan and Mendoza in Argentina*” included in the GlobeSAR2 Program.

*The importance of this project is* the development of new technologies tending to satisfy continuous demands and applications of satellite data , in the short, medium and long term, for the study, management and sustainable development of the renewable natural resources of the region. Also, the articulation of the regional available technological infrastructure, so the products derived from the digital images processing can be transferred to the final users widening of the fields of application and seeking for potential users who could be benefited from the use of these technologies.

The test site presents vast zones with generally flat topographic conditions which make the natural soil drainage difficult. This situation together with the bad use of the irrigation water, losses due to infiltration in the distribution channels and lack of efficient drainage collectors, have contributed to the salinity of important areas caused by the phreatic waters with high saline content nearby the surface. As a consequence, the production in these sectors decreased, causing an important degradation in the Valley.

The production of the agricultural zones is affected by an increasing salinity process. According to the Statistics from the Censuses of the Agriculture and Cattle-Raising Department of the Province of San Juan, approximately 40% of the total land in the Tulum Valley is affected by “revenición” (very high phreatic level) and salinity .

This project is part of a Program that has been developed at the Center of Photogrammetry, Cartography and Cadaster of the School of Engineering , by initiative of the Economic Federation of San Juan and the Ministry of Production of San Juan Province.

The important cooperation activities originated from this proposal, through an agreement between CONAE , the University of San Juan, and INTA.

**Objectives**

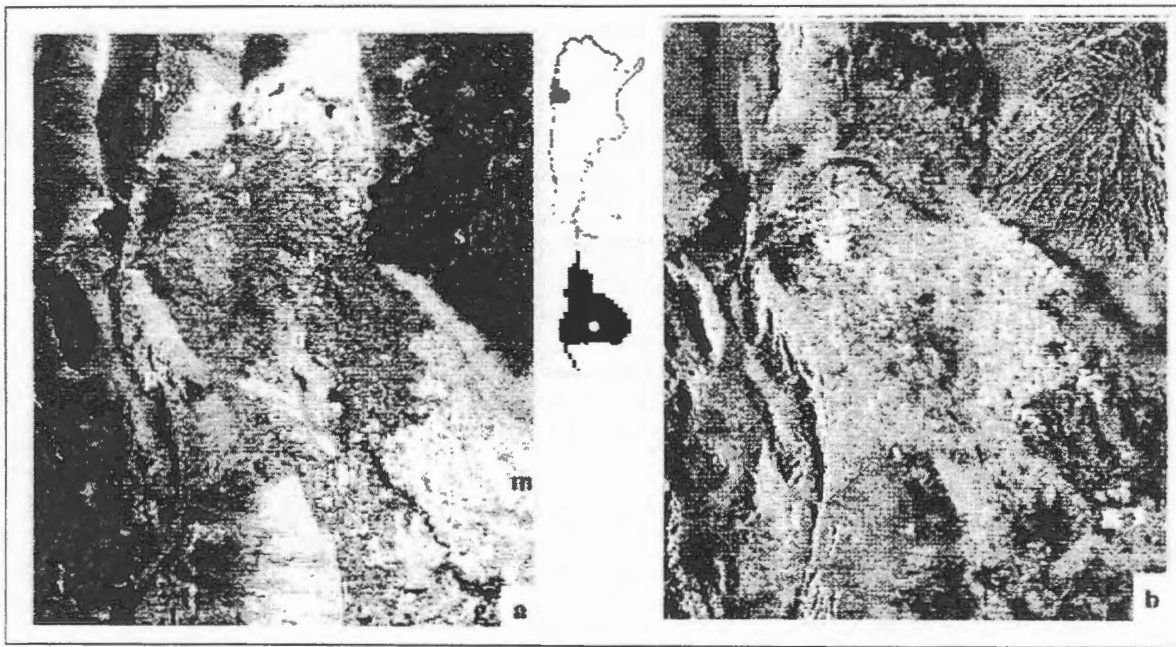
- The development of a methodology which allows the incorporation of SAR images to crop discrimination using a multitemporal study (images for the phenological cycle of the main crops) and a multisensor one, which uses optical images (Landsat and Spot) to discriminate crop types and conditions.
- Computing the agricultural statistics to help in the process of planning and programming soil use. Due to the characteristics of the region, where agriculture constitutes the main economic resource, it becomes increasingly necessary to develop and efficiently handle soil resources and water in cultivated areas. The data provided by the remote sensors allows the planners to analyze the conditions of the soil and vegetable coverage, and also to define and follow the changes produced in the cultivated areas.

### The application area

The project considers the application of high resolution satellite images in Tulum Valley with "dry climate" characteristics such as very low annual rainfall (93mm), high helifany and very important hydric deficit. Regarding the soils, they have a poor development of the edafogenic horizons. The phytogeographic province of the Mountain includes all the zone under study (Cabrera, 1976) which is generally characterized by shrub steppes where **xerophite and halophite** species prevail. Small forest areas and marshy environments associated with local conditions are also found.

The main crop is grapevine and annual crops of tomatoes, garlics and onions, though represent a smaller proportion, are important as well.

Processes of desertification such as salinity and hydric erosion are observed in this area. These processes affect the vast zones located in the dryland diagonal of South America..



**Figure 1.** Shows the area under study. a) The Landsat TM image, combination 4,5,3. b) The RADARSAT image, standard mode. Both images were taken in summer.

### Materials

-1) Beam S4 (0 = 34° - 40") Resolution = 26m (Rg) x 27m (Az), Descending Pass (right looking) with date: 97-JAN-21.

-2) Beam Fine3 (0 = 41° - 44") Resolution = 8.4 m (Rg) x 8.4 m (Az), Descending Pass (right looking) with date: 97-JAN-28.

-3) Beam S3 (0 = 30° - 37") Resolution = 28m (Rg) x 27m (Az), Ascending Pass (right looking) with date: 97-JAN-29.

-4) Beam Fine3 (0 = 41° - 44") Resolution = 8.4 m (Rg) x 8.4 m (Az), Descending Pass (right looking) with date: 97-AUG-

Two Landsat TM images with the center located in 31° 45' W and 68° 48' S, dated:

97-MARCH-

97-JULY-

There is abundant thematic information in digital support within the digital Socioeconomic Atlas of the Province of San Juan, among those we can mention: soil, hydrologic and topographic maps. The Images Processing System used in this work were PCI6.2 and ERDAS IMAGINE 8.2.

## Methodology

To comply with the established objectives the following stages were fulfilled:

- **Ancillary data collection:** (geology, geomorphology, hydrogeology, edafology, vegetal coverage and land use.)
- **Image Preprocessing:** In this stage RADARSAT data were downloaded off CD-ROM (running CDSAR), creating a PCIDSK file.

- **Image Processing :**

The following steps were accomplished:

1) **Image enhancement**, using PCI's RadarSoft Package to enhance the gray-level contrast: a) image filtering for the reduction of the Speckle noise using **Radar Speckle filters**. FGAMMA, the Gamma Map Filtering (3x3 window) came to be the one with best performance in this case. This filter smoothes the image data, without removing edges or sharp features in the images. b) **Image scaling** using histograms,

2) **Geocoding the SAR and Landsat TM images**. The geometrical transformation was used for adjustments in the images data to change their geometrical characters in order to accomplish the multitemporal study using summer and winter Radarsat images and the Data fusion and integration with Landsat TM images.

3) **Lut enhancement**.

4) **Data fusion and integration** to incorporate the IHS colour space, fusing the imagery together. In this particular case, 5,4,3 Landsat TM bands were used.

5) **Change Detection**. To visualize and analyze the difference between summer and winter RADARSAT images.

6) **Classification**. Different kinds of classification methods were used in this work.

Multispectral classification using multitemporal RADARSAT images.

Multispectral classification using fused RADARSAT and Landsat TM images.

- **Visual Interpretation**, radar imagery interpretation at regional level at 1:150.000 scale.
- **Field work** in a well known test site during the agricultural cycle with the presence of summer and winter crops..

## Results and discussion

Figure 2 shows the aerial photo and both Fine Mode Images dated January and August 1997, as well as the photos of crops at the same date than the images.

From the visual analysis of this figure, it can be seen that the August (winter) image exhibits more backscattering due to higher roughness of grapevine crops (arbor type conducted) and onion and garlic crops which have their phenological cycle in winter

Figure 3 shows the supervised classification of fused RADARSAT (fine mode) and Landsat TM both dated in winter 1997. There, it can be seen that grapevine can be well discriminated from onion and garlic, but there is a slight confusion between these two.

Figure 4 shows the multitemporal RADARSAT study of the test site. It can be seen there that the whole area generally has higher backscattering in August due to the presence of winter crops added to a higher roughness caused by the conducting sticks of grapevine crops. Olives crops parcels are shown in dark gray they remain very alike during winter and summer. The very dark parcels correspond to abandoned grapevine and zones with salinity processes due to the fact that they don't change during the year..

## Conclusions

It was observed that SAR images allow the detection of grapevine crops using the driving system consisting in "cuyano type" vine arbor of 1,90 m high and separated at a distance of 0,90 m each row.

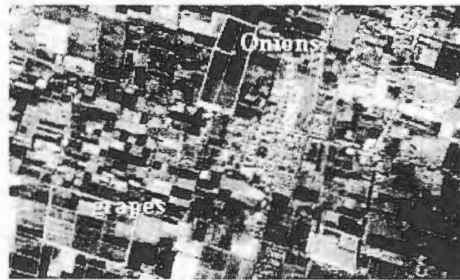
The test sites of the main crops of the area in the three scenes were observed. It can be seen that **fine mode and descending pass radar image** can discriminate more clearly than the others.

The results obtained either from fused RADARSAT (fine mode) and Landsat TM or from the multitemporal RADARSAT study appear to be much more accurate than those obtained from the processing of a single date image.

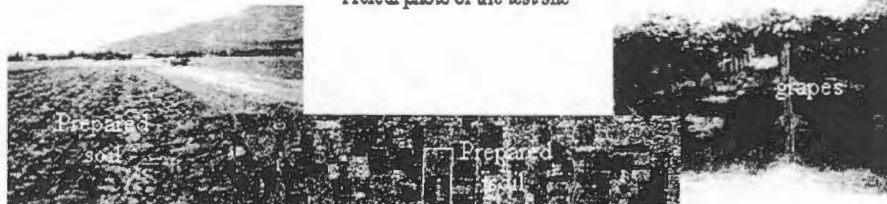
## Future Development

Optimization of classification methodology using greater number of test samples and performing sequential masking classifications using all available images.  
The next step will consist in the incorporation of a new RADARSAT image obtained in spring to complete the fenological cycle of the main crops in the area.

Figure 2



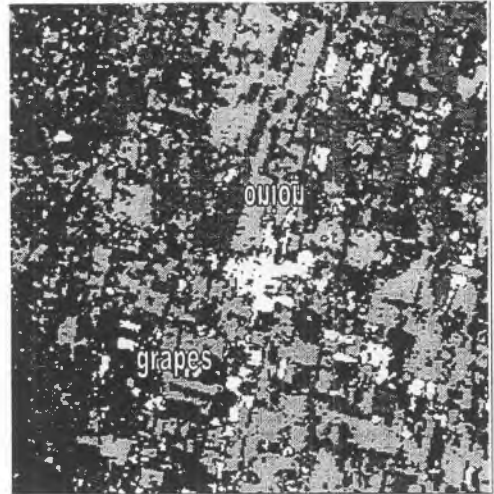
Aerial photo of the test site



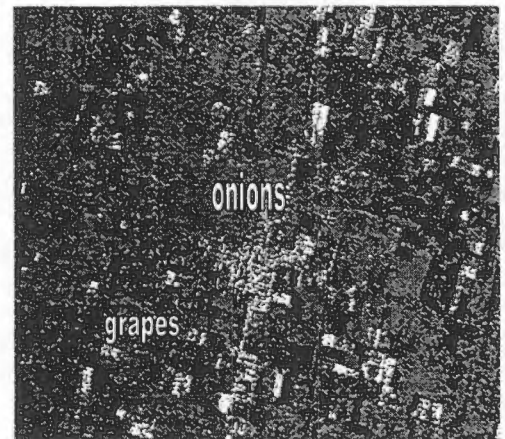
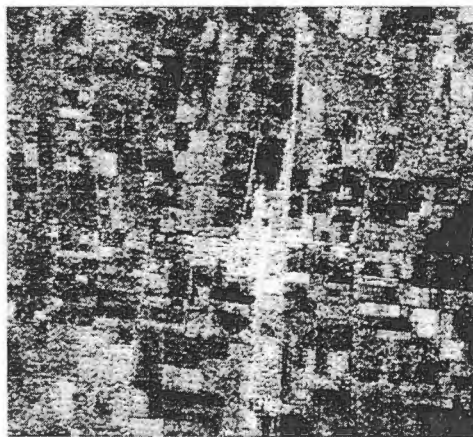
January image



August image



**Figure 3.** In a) shows the shows the fused RADARSAT (fine mode) and Landsat TM and in b) the supervised classification . Both dated in winter 1997.



**Figure 4.** In a) shows the multitemporal RADARSAT study of the test site. In b) The supervised clasification It can seen there that the whole area generally has higher backscattering in August.

## The study of the degradation process

### 1) Identification of homogeneous zones

- A) *Urban sector of the Gran San Juan.*
- B) *Crops zones in good conditions.*
- C) *Poorly cultivated and abandoned crops zones*
- D) *Contact area of alluvial fan and alluvial **plain**.*
- E) *Agua Negra Stream watershed.*
- F) *Area with presence of salinity process and soil degradation*

### 2) Multitemporal Analysis of Radar Data.

- *A) Urban sector of Gran San Juan: in the same way, due the high roughness and low humidity, bright grey colors are observed in both images.*
- *B) Crop zones in good conditions: In January, they are observed in dark gray due to low roughness. because the crop cover is high and homogeneous. In August, they are observed in a darker gray due to the older roughness, because the crops are absent.*
- *C) Poorly cultivated and abandoned crops zones: bright grey colors are observed in both images, due to high roughness caused by sticks left in the field in abandoned crops.*
- *D) Demilune sectors: In January, they are observed in bright grey, due to the high rugosity because vegetation is not homogeneous and their cover is high. In August, they can be observed in dark gray, due to the low roughness because the cover is low and the site is all uncovered.*
- *E) Agua Negra Stream watershed: In January, they are observed in medium grey, due medium rugosity and low humidity, because vegetation is not homogeneous and the plants cover is high. In August they can be observed in dark gray, due to low roughness. The low roughness caused the low green cover.*
- *F) Areas with presence of salinity process: low grey colors are observed in both image, due to the low roughness. The low roughness due the surface is very smooth, without vegetation.*



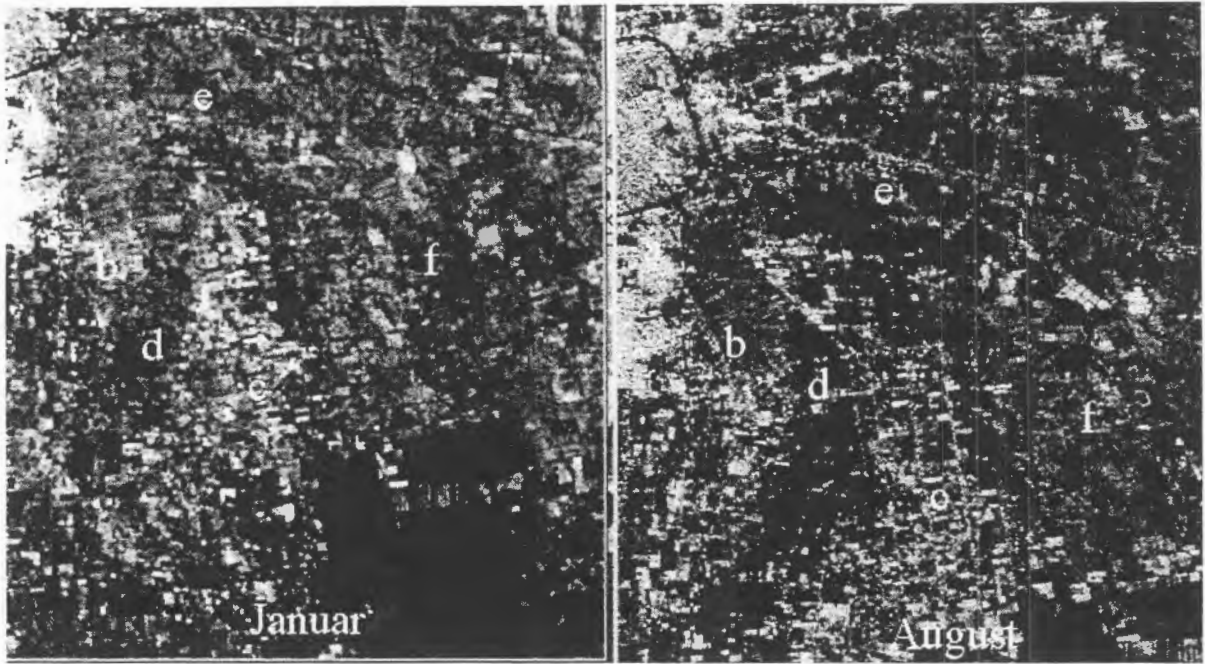


Figure 5. Shows the Multitemporal Analysis of Radar Data.



Agua Negra Stream



Areas with salinity process



Demilune sectors



Figure 6. Shows the homogeneous zones



## Bibliography

- J. Cihlar, R. J. Brown and B. Guindon. INT. J. REMOTE SENSING, 1986, VOL. 7, N° 2, 195-212.
- Hermann, J.H., Kux, Ahern, F.J. and Pietsch, R.W. (1995): Evaluation of radar remote sensing for natural resource management in the tropical rainforests of Acre State, Brazil.-Canadian Journal of Remote Sensing, Vol.21, N°4, December 1995; pp.430-440.
- "Instrumento de Gestión y Decisión". SPOT 1986. París-Francia. CNES (Centre National d'etudes Spatiales).
  - Furque G., 1986. "Carta Geológica-económica de la República Argentina". Hoja 20 C - Ullum.
  - Lillesand & Kieffer., 1987. "Remote Sensing and Image Interpretation". Second edition. Ed. Wiley & Sons.
  - Wooding, M.G., 1988. "Imaging Radar Applications in Europe". Illustrated Experimental Results (1978-1987). Ed. Guyenne & London. ESA (European Space Agency). "Instrumento de Gestión y Decisión". SPOT 1989. París-Francia. CNES. (Centre National d'etudes Spatiales).
  - Hielkena, Jelle, 1992. (Senior Remote Sensing Officer - FAO, Rome, Italy). "Bases de Información Especializada, SIG y Redes de Comunicación para el manejo de Recursos Naturales: Proyecto Artemis". Presented at the United Workshop on Space Technology.
  - Resource Development and Environment Management. Quito, Ecuador. Shunji Murai, Yoshiaki Honda and Shintaro Goto (University of Tokyo), 1992. "The Use of Technology in Resource and Environment Management". Presented at the United Workshop on Space Technology for Resource Development and Environment Management. Quito, Ecua