



VOL. 16, N° 1-2

JUNIO 2000

ISSN 0717-2915

**Revista
Journal**

SELPER

SOCIEDAD LATINOAMERICANA DE PERCEPCIÓN REMOTA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN ESPACIAL
SOCIEDADE LATINO-AMERICANA EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO ESPACIAL
LATINAMERICAN SOCIETY FOR REMOTE SENSING AND SPACE INFORMATION SYSTEMS

IX Simposio Latinoamericano de Percepción Remota

Sociedad de Especialistas Latinoamericanos en Percepción Remota
SELPER - Capítulo Argentina

Puerto Iguazú, Misiones - Argentina
6 al 10 de noviembre de 2000

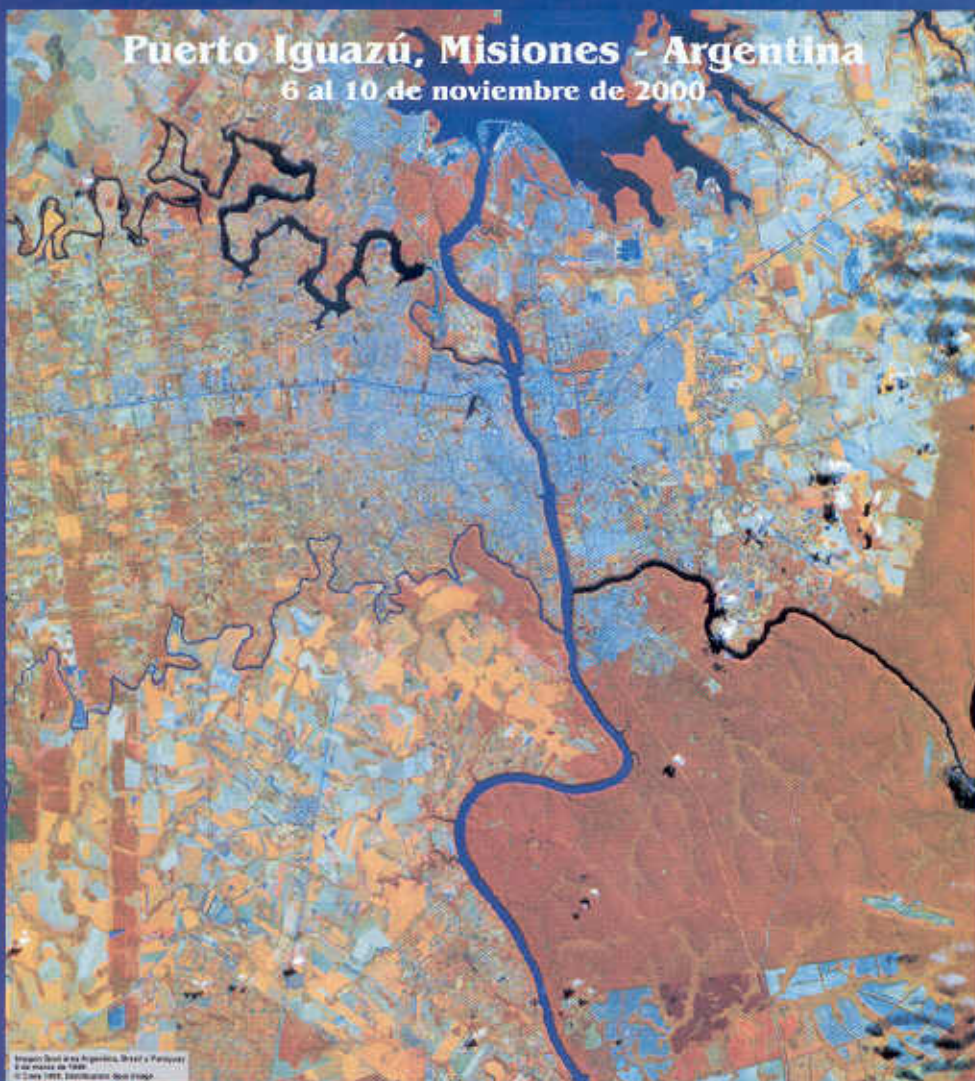


Imagen Satelital de Argentina, Brasil y Paraguay
© 2000 1999, Cartografía de la Tierra



SELPER - Capítulo Argentina
Universidad Nacional de Luján
Ruta 5 y 7 (6700) Luján, Buenos Aires, Argentina
Teléfonos: (+54 - 2323) 423171
Fax: (+54 - 2323) 425795
proditeka@mail.unlu.edu.ar
www.selper.org



ESA promueve el desarrollo y la cooperación internacional



ESA - ESRIN

Via Galileo Galilei,
Casella Postale 64,
00044 Frascati (Roma)
ITALIA

Tel: (39.06) 94180.1

Fax: (39.06) 94180.280

Att: Sr. Maurizio Fea (América Latina)

ESA - Asuntos Internacionales

8-10 rue Mario Nikis,
75738 PARIS Cedex 15, FRANCIA

Tel: (33.1) 5369.7443, Fax: (33.1) 5369.7627

Att: Sra. Valerie Hood (América Latina)



REVISTA - JOURNAL SELPER

VOL. 16, N° 1-2, 2000

ECUADOR
1980 - 1983

CHILE
1983 - 1986

BRASIL
1986 - 1989

ARGENTINA
1989 - 1991

PERU
1991 - 1993

COLOMBIA
1993 - 1995

MEXICO
1995 - 1997

VENEZUELA
1997 - 1999

ARGENTINA
2000 - 2002



FOTO PORTADA:

Triple frontera

Subimagen obtenida por el sensor HRVIR del satélite Spot 4 con fecha de adquisición 8 de marzo de 1999.

En esta combinación se asignaron los filtros rojo, verde y azul a las bandas XS3, XS4 y XS2 por lo tanto la vegetación se verá en diferentes tonos rojizos perteneciendo los tonos más oscuros a la formaciones forestales nativas (selva paranaense) protegidas por el Parque Nacional Iguazú y los tonos mas claros corresponden a diferentes tipos de cultivos que ejercen una presión sobre esta selva. En la confluencia del río Iguazú con el río Paraná se encuentra la zona denominada Triple Frontera compartida entre Argentina, Brasil y Paraguay con sus ciudades: Puerto Iguazú, Foz de Iguazú y Ciudad del Este, respectivamente.

En el margen superior, en azul, se encuentra el gran lago formado por la represa hidroeléctrica Itaipú y en la parte inferior el formado por la represa Uruguá-I, que presenta en sus márgenes diferentes emprendimientos de tipo forestales. El Parque Nacional Iguazú es la mayor área protegida de este tipo de formación forestal; dentro de éste se encuentran las Cataratas del Iguazú sobre el río del mismo nombre que sirve como frontera natural entre Argentina y Brasil.



DIRECTORIO SELPER, SEDE ARGENTINA, 2000 2002

Programa de Desarrollo e Investigación en Teledetección
Universidad Nacional de Luján
Rutas 5 y 7, CP 6700, Luján, Bs. As., Argentina
Tel: +54 2323-423171 int 248 Fax: +54 2323-425795

PRESIDENTE
Maria Cristina Serafini
Argentina

VICE-PRESIDENTE
Raúl Colomb
Argentina

VICE-PRESIDENTE
Gustavo Ruiz
Venezuela

VICE-PRESIDENTE
José Luis Lizeca
Bolivia

SECRETARIA GENERAL
Miriam Antes
Argentina

RESPONSABLE DE DIVULGACIÓN ELECTRÓNICA
Walter F. Scione
Argentina

TESORERO
Redondo Francisco
Argentina

COMITÉ RELACIONES INTERNACIONALES
Paulo Roberto Martini (Brasil)
Presidente

COMITÉ EDITORIAL
Mauricio Araya (Chile)
Presidente

COMITÉ DOCENCIA E INVESTIGACIÓN
Tania Sausen (Brasil)
Presidente

Ramiro Salcedo (Venezuela)
Sophie Moreau (Bolivia)
Miguel Sanchez Peña (Argentina)
Alfredo Cuello (Argentina)

Myriam Ardila (Colombia)
Marcelo Campi (Argentina)
Leila Maria G. Fonseca (Brasil)
Francisca González (Argentina)

Roberto Castro R. (Chile)
Valentino Sorani (Mexico)
Ricardo Alvarez Portal (Cuba)
Maria Cristina Serafini (Argentina)

CAPÍTULOS CONSTITUIDOS**ARGENTINA**

Francisco Celis González
Universidad Nacional del Sur
Departamento de Geología
San Juan 670 (4000)
Bahía Blanca, Argentina
Tel: 54 - 291 - 459 5102 - int. 4360
Fax: 54 - 291 - 459 5127
E-mail: algonza@ccrba.edu.ar

BOLIVIA

José Luis Lizeca
ABTEMA
Reyes Ortiz No 41 - Puro 13 Casilla: 14248
La Paz, Bolivia
Tel: 591-2-321-339 / 521-113
Fax: 591-2-315220
E-mail: jlizeca@hotmail.com

BRASIL

Leila Maria Garcia Fonseca
INPE
Av. Dos Astronautas 1758, São José dos Campos
SP, Brasil
Tel: 55 - 12 - 39456000
E-mail: lizela@lzi.ipe.br

CHILE

Carlos Pattillo
CPR & SGI
Av. 11 de septiembre 2155 - A Of. 902
(900411) Santiago, Chile
Tel/Fax: 562 - 5532000
E-mail: Carlos.Pattillo@cprmag.cl

COLOMBIA

Myriam Ardila
PROGIS S.A.
Calle 94 A 9° 11 A-70
Santa Fe de Bogotá, Colombia
Tel: 57-1-6357272
Fax: 57-1-6357190
E-mail: mardila@progis.com

CUBA

Eloy Pérez García
GEOCUBA-IPC
Calle 4 N° 303 Miramar, Playa E-7° y 7A
Ap Postal 608 Manzanillo 11
Ciudad de La Habana, Cuba
Tel: 51 - 7 - 295562
E-mail: gprobah@geocuba.gob.cu

ECUADOR

Rodolfo Salazar
CLARSEN
Edif. Instituto Geográfico Militar, Pao-4
Santiago de los Rios y Par y Mito
Apartado Postal 17-08-8216
Quito, Ecuador
Tel: 593-2-254-3195
Fax: 593-2-255-5456
E-mail: rlsalazar@clarssen.com

GUATEMALA

Carlos Alberto Duarte
Ingeniería Virtual
Bate 4, s-40 Zona 4, Oficina 14
Ciudad de Guatemala (01004), Guatemala
Tel: 502 - 334-1039-9038
Fax: 502 - 331-9300
E-mail: chduarte@hotmail.com

MEXICO

Daniel Tancort
Universidad Autónoma de Baja California
Ed. Posgrado e Investigación
Blvd. Benito Juárez
Mexicali, Baja California, Mexico
Tel/Fax: 52-686-566-29-85 ext: 131
E-mail: dtancort@uabc.mx

URUGUAY

Fernando Carpele
Servicio de Sensores Remotos Aeroespaciales (P.A. 11) Brigada
Aerea No. 1
Ruta 101 s/o Km. 10500
Carrasco, Uruguay
Tel: 598-2-601-4081
Fax: 598-2-601-4090
E-mail: carafonso@adinet.com.uy

VENEZUELA

Gustavo Ruiz
Oficina Central de Estadística e Información
Av. Boyacá, Miramar
Caracas, Venezuela
Tel/Fax: 58-2-7932-356
E-mail: garuiz@cenivi.net

CAPÍTULOS EN FORMACIÓN**PARAGUAY**

Sergio M. Burgos Sosa
IPPA
Dr. César Sánchez 451
San Lorenzo, Paraguay
Tel/Fax: 595-21-874909
E-mail: amburgos@highway.com.py

PERU

Ricardo Coloma de las Casas
IRC Technology S.A.C.
Av. República de Panamá 6620
Barranco, Lima, Perú
Tel: 51 - 445 9541
E-mail: rcoloma@ircnada.gob.pe

CAPÍTULOS ESPECIALES**ALEMANIA**

Klaus Reisinger
DLR
D-8031 Oberpfaffenhofen
Alemania
Tel: 49-8153-281189
Fax: 49-8153-281443

CANADA

Fritz P. Dubois 25 Nallant
C/o Nephtis Ontario Rd-2-862
Ottawa, Canada
Tel: 613-596-4164
Fax: 613-723-9626

ESPAÑA

José L. Labrander
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)
Paseo 25 - Madrid 28002 Madrid, España
Tel: 34-411.10.98
Fax: 34-902.55.67

FRANCIA

Jean-Luc Devynck
CNES
Chef Dpt. Coopération et Développement
2, Place Maurice Quentin, 75039 Paris Cedex 01
Paris, Francia
Tel: 33-1-447.67500
Fax: 33-1-447.67849
E-mail: Jean-Luc.Devynck@cnes.fr

HOLANDA

Carlo Valentini
ITC
350 Boulevard 1945, P.O. Box 6, 7500 AA
Enschede, Holanda
Tel: 31 53 874-444
Fax: 31 53 874-400

ITALIA

Maurizio Pini
ESA-ESRON
Via Galileo Galilei, 00044
Frascati, Italia
Casilla Postal 64
Tel: 39 - 694189940
Fax: 39 - 694189942
E-mail: Maurizio.Pini@esa.es

LISA

Patricia M. Ravelo
SPOT
Espace Urdun
Tel: 1-800-ask-spot ext. 137
Fax: 703-648.1813
E-mail: ravelo@spot.com



COMITE EDITORIAL

Mauricio Araya F. (Chile)
Presidente. Madero 795
Santiago-Chile
Tel.: 56-2-696 7583
Fax: 56-2-237 1559
E-mail: maraya@entelchile.net

Myriam Ardila (Colombia)
PROSIS S.A.
Calle 94 A n° 11 A-70
Santa Fe de Bogotá-Colombia
Tel: 57-1-6357272
Fax: 57-1-6357190
E-mail: mardila@prosis.com

Marcelo Campi (Argentina)
SVD S.A.
Venezuela 1650, CP(1428)
Capital Federal-Argentina
Tel: 54 - 11 - 4384 - 7020
Fax: 54 - 11 - 4771 - 6743
e-mail: mcampi@svdsa.com.ar

Leila Maria G. Fonseca (Brasil)
INPE
Av. Dos Astronautas 1758
Sao José dos Campos
SP- Brasil
Tel: 55-12-39456000
E-mail: leila@dpi.inpe.br

Francisca Celia González (Argentina)
Universidad Nacional del Sur
Departamento de Geología
San Juan 670 (8000) Bahía Blanca
Buenos Aires-Argentina
Tel: 54 - 291- 459 5102 - int. 4360
Fax: 54 - 291- 459 5127
E-mail: ghgonzal@criba.edu.ar

COMITE PUBLICACIONES
(SELPER INTERNACIONAL)
Edición Volúmenes 16 y 17
Programa de Desarrollo e Investigación
en Teledetección (PRODTEL)
Dpto. de Ciencias Básicas
Universidad Nacional de Luján
Rutas 5 y ex 7 (6700) Luján
Buenos Aires- Argentina
E-mail: proditel@mail.unlu.edu.ar



ÍNDICE TEMÁTICO

- | | Pag. |
|--|------|
| ● PROGRAMA FUEGO: DETECCIÓN Y SEGUIMIENTO DE INCENDIOS DESDE EL ESPACIO
Susana Martinez Aragonés, Ignacio Tourné Izquierdo,
Jesús Gonzalo de Grado, José Luis Casanova..... | 5 |
| ● REGISTRO AUTOMÁTICO DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO MULTI-TEMPORAIS BASEADO EM MÚLTIPLAS RESOLUÇÕES
Leila M. G. Fonseca, Max H. M. Costa | 13 |
| ● EVALUACIÓN DEL CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA REGIÓN CITRÍCOLA DE NUEVO LEÓN, MÉXICO
Verastégui CH. J., Treviño G. E. J., Vázquez, A. R.,
Pissanni, J., Olivares E. | 23 |
| ● GENERACIÓN DE MODELOS DIGITALES DE TERRENO EN ZONAS CUBIERTAS POR VEGETACIÓN USANDO INTERFEROMETRÍA RADAR
Osvaldo Peinado | 30 |
| ● INFORME SOBRE EL PROGRAMA METOP-1 DE LA ESA
Evangelina Oriol Pibernat | 38 |

Editado por: SELPER INTERNACIONAL
Universidad Nacional de Luján
Rutas 5 y ex 7, Luján (6700) - Bs. As. - ARGENTINA

**PLAN EDITORIAL SELPER 2000 - 2002****Plan editorial SELPER**

Considerando la gran utilidad que representan las publicaciones SELPER (Revistas Científicas y Boletín Noticias) para los miembros y nuestra sociedad el Plan Editorial SELPER 2000-2002 básicamente consistirá en:

I. Publicación Semestral de la Revista Técnica Científica SELPER

Para los años 2000, 2001 y 2002 se publicará un número único reuniendo los dos semestres y fechado simbólicamente en junio de cada año. Así, tendremos volumen 16, año 2000, volumen 17 año 2001, volumen 18, año 2002. Para poder realizar este plan se ha contado con el valioso patrocinio de la Agencia Espacial Europea (ESA) Contando con el especial apoyo del DR. Maurizio Fea (ESA/ESRIN) a quien SELPER agradece en forma especial.

II. Publicación bimestral del Boletín electrónico SELPER.

Se ha puesto en línea recientemente desde el sitio SELPER Internacional www.selper.org un espacio llamado Boletines. Este servicio se utiliza para la difusión de cursos, jornadas y toda actividad científico-académica que quiera ser difundida por los Capítulos Nacionales o el Comité Internacional de SELPER.

NORMAS PARA LOS AUTORES

Los artículos enviados serán sometidos a revisión por los correspondientes subdirectores científicos, según la temática indicada para estos integrantes del Comité Editorial. Independientemente de ello, estos podrán asesorarse adicionalmente por un experto en el tema, además de solicitar opinión a un experto del país del autor, para asegurarse del nivel científico del trabajo, dados los diversos grados de avance Técnico-Científico de los capítulos miembros de SELPER.

Los trabajos aprobados serán publicados en estricto orden, de acuerdo a las fechas de llegada de las diversas contribuciones. Los idiomas oficiales SELPER son: Español, Portugués, Inglés, (Excepcionalmente podrán admitirse otros idiomas, en especial para el resumen inicial). El trabajo presentado deberá estructurarse al menos en las siguientes secciones.

- Título del trabajo. Nombre de los autores y direcciones completas.
- Resumen (no más de 150 palabras), indicando al final las palabras claves). Deberá incluirse en Español o Portugués, además de Inglés.
- Introducción o planteamiento general.
- Objetivos

- Metodología empleada y materiales.
- Resultados obtenidos
- Discusión y conclusiones
- Bibliografía, indicando autores, año, título, revista o medio donde fue publicado (incluyendo volumen y Página cuando corresponda).

Serán citadas en el texto indicando el autor y el año.

Los títulos y subtítulos de cada región deberá estar claramente indicados (ya sea con numeración o tamaño de letras). Las tablas, fotos y figuras deberán ser suficientemente nítidas para ser publicadas a una o dos columnas, indistintamente. Se recomienda enviar ampliaciones, con el título y leyendas correspondientes. Es imprescindible enviar una copia en forma electrónica (usando lenguajes universales para texto, tablas, figuras y fotos), además de una copia impresa (hard copy) incluyendo colores cuando corresponde. La extensión total del trabajo (incluyendo texto, tablas, figuras y fotos) No deberá superar las 10 pág. En formato carta o din4. Los trabajos podrán enviarse al Director Editorial o a los Subdirectores Científicos, en las direcciones indicadas del Índice temático.

PROGRAMA FUEGO: DETECCIÓN Y SEGUIMIENTO DE INCENDIOS DESDE EL ESPACIO

Martínez Aragonés, S.¹; Tourné Izquierdo, I.²; Gonzalo de Grado, J.³ y J. L. Casanova⁴

(1) (2) (3) INSA, C/ Orense 4, 9, Madrid, España, Tel: +31 91 556 14 18 Fax: + 31 91 597 21 81

Email: smartinez@insa.org; Email: jtourné@insa.org; Email: jgonzalo@insa.org

(4) LATUV, Prado de la Magdalena s/n, Valladolid España, Tel/Fax: +31 983 42 31 38

Email: jois@latuv.uva.es

RESUMEN

FUEGO es un sistema espacial destinado a la detección temprana de incendios forestales y a su seguimiento. Se pretende constituir una herramienta de gran utilidad para los servicios de lucha contra incendios, aportando una rápida detección, ayudando en su evolución y seguimiento, facilitando así labores de gestión de recursos y extinción, así como aplicaciones adicionales en prevención de riesgos y evaluación de daños.

Para ello el sistema consta de 12 minisatélites de órbita baja, dispuestos homogéneamente en tres planos orbitales. La órbita tiene una inclinación de 47,5 grados. Se ofrece así una vigilancia continua, dando lugar a un tiempo medio de detección de 15 minutos.

El instrumento consiste en un haz de observación, dotado de mecanismos de apuntamiento y diferentes canales espectrales: infrarrojo medio, infrarrojo cercano, infrarrojo térmico y visible.

El sistema tiene la capacidad de detectar incendios de tamaño 50 m² y temperatura 800 K y de adquirir imágenes del incendio con muy buena resolución temporal y espacial.

La variedad de canales del instrumento y las características del sistema permiten la aplicación de los datos FUEGO a diversas disciplinas, como vulcanología, oceanografía, detección y seguimiento de vertidos marinos de petróleo, seguimiento de heladas, creación de inventarios de terreno, mapas de riesgo de incendios...

Actualmente FUEGO se halla en su fase de diseño detallado del instrumento, a cargo de programas de I+D de la Unión Europea, incluyendo la construcción de un modelo de laboratorio, que permitirá la validación de la tecnología del instrumento. Paralelamente se están llevando a cabo estudios complementarios de la plataforma, algoritmos de detección y de nuevas aplicaciones financiados por la Agencia Europea del Espacio (ESA). Está previsto

poder abordar la construcción de FUEGO a partir de 2001 en el marco de los programas de la ESA.

ABSTRACT

FUEGO is a space-based system designed to the early outbreak forest fire detection and monitoring. It is intended to constitute a helpful tool for forest fire services, giving early detection, helping evolution and monitoring, then making easier resource management and extinction works, thus additional application in prevention and damage evolution.

For that purpose, the system consists of 12 minisatellites in Low Earth Orbit, distributed in three different orbital planes. The orbit inclination is 47.5°. This constellation configuration offers continuous surveillance, with 15 minutes mean detection time.

FUEGO instrument consists of a single beam, provided with pointing mechanisms and four spectral channels: medium infrared, near infrared, thermal infrared and visible.

This system is able to detect fires of size 50 m² and 800 K and to acquire images of good spatial and temporal resolution.

Instrument features could be applied to acquire data for additional applications such as, vulcanology, oceanography, oil spill detection and monitoring, frost monitoring, creation of land inventories, fire risk maps and so on.

Nowadays, FUEGO is immersed in the detailed design phase of the instrument; this includes the construction of a laboratory model. This model will allow to validate the instrument technology. This phase is carried out in the frame R+D programs of the European Union. Besides, platform, detection algorithms and new applications studies are being accomplished; all of them are funded by the European Space Agency. FUEGO construction is foreseen for 2001 within the frame of ESA programs.

INTRODUCCIÓN

Los incendios tienen un efecto devastador, destruyen la flora y la fauna, acaban con vidas humanas y causan grandes daños económicos. Tienen un gran impacto medioambiental, contribuyen a la progresiva destrucción de los suelos, dando lugar así a la desertificación de los mismos (que en el caso de Europa afecta al 10 % de sus regiones). Agravan el efecto invernadero por la gran emisión de dióxido de carbono que se produce, influyendo pues en el clima global del planeta.

En la cuenca mediterránea, las actividades antropogénicas son las principales causantes de los incendios forestales, entre ellas los usos de fuego tradicionales en las prácticas agrícolas y las mejoras de pastizales, es de destacar que el uso para fines recreativos de las zonas forestales incrementa notablemente el número de incendios, también causas naturales como son determinadas características climáticas favorecen la producción y el desarrollo de estos fenómenos.

La observación remota del fenómeno puede ayudar a solventar el problema, dando información sobre incendios en un breve periodo de tiempo, aportando información para el entendimiento y evolución del fenómeno, ayudando a la gestión de los recursos forestales de un modo eficiente y asesorando sobre el estado de los bosques. Los datos de satélite son especialmente interesantes para la detección y el seguimiento de los incendios.

El principal objetivo de FUEGO es contribuir de forma decisiva y eficaz a la lucha contra incendios en los bosques de las zonas templadas del planeta, concentrando esfuerzos en Europa.

FUEGO pretende ser el primer sistema espacial dedicado a la lucha contra incendios forestales. Por ello el sistema ha sido concebido por y para el usuario. El desarrollo viene guiado por las directrices que se establecen en las conferencias de usuarios y a través de contactos directos. Con los usuarios se analiza el progreso del programa y se recaban las inquietudes y necesidades de los expertos en la materia. Para ello se han creado dos grupos, el comité de usuarios compuesto por representantes nacionales de los países de la Europa mediterránea y el grupo de usuarios compuesto por los potenciales usuarios de todo el mundo.

Los principales usuarios de FUEGO serán los servicios de lucha contra incendios y las fuerzas de protección civil nacionales y regionales. Los principales suscriptores del servicio serán los pertenecientes a la Europa Mediterránea (nace como iniciativa Europea). Sin embargo, debido a las características del sistema el servicio se extenderá a todas las zonas templadas del planeta con similar problemática.

En la primera fase del Programa se estableció el contacto con los usuarios para identificar sus requisitos. Con este motivo se celebraron las dos primeras conferencias de usuarios, en las cuales los principales puntos tratados fueron:

MATERIAL Y MÉTODO

Los usuarios dentro del Programa FUEGO

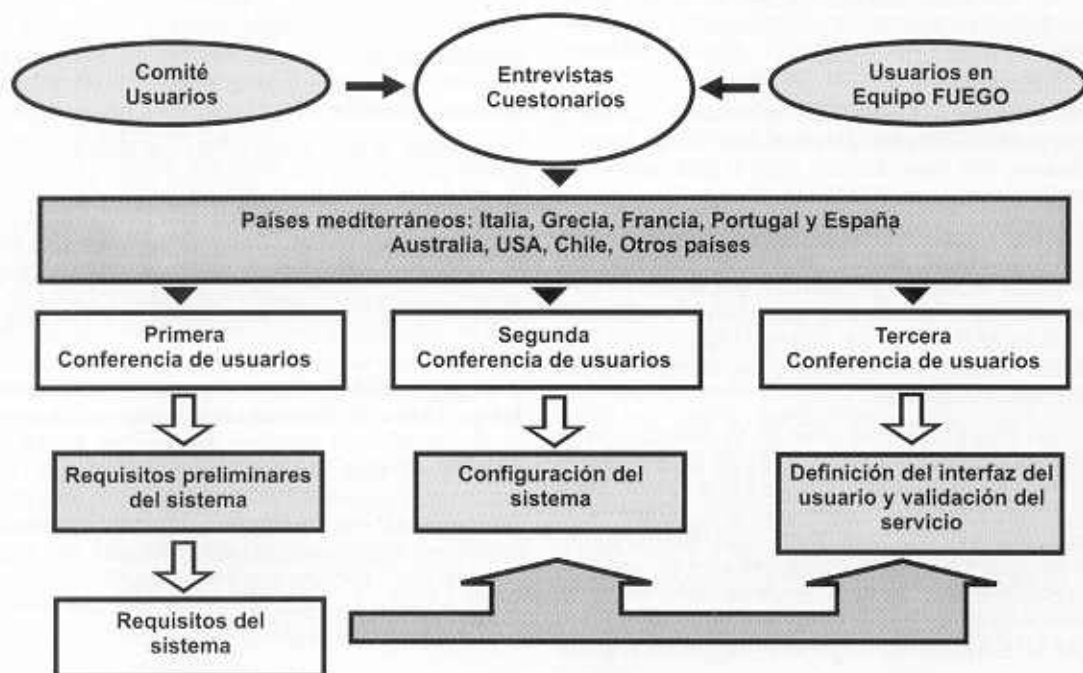


Figura 1: Participación de los usuarios en FUEGO

- La definición inicial del sistema y su posterior consolidación
- La identificación de los primeros requisitos y su posterior refinamiento: tiempo de detección, geo-localización de los focos, discriminación de falsas alarmas, la resolución de las imágenes de monitorización, las áreas de vigilancia y el tiempo de observación
- La definición del segmento de usuario, modo recepción de datos y comunicaciones con centro de control y entre estaciones
- La identificación de costes de los sistemas actuales de adquisición de imágenes
- La presentación de FUEGO como un sistema operacional, complemento de los ya existentes
- Clasificación de alarmas en función de la intensidad del fuego o del daño potencial
- Discriminación de falsas alarmas del 5%, si bien determinados usuarios aceptarían niveles superiores hasta el 15 %
- Petición automática de monitorización para incendios que superan las 25 hectáreas
- Resolución espacial de la imagen de monitorización en nadir entre los 30 y 50 metros
- Precisión de la geo-localización de las imágenes de monitorización del orden del tamaño del píxel
- Debe ser evitada la saturación de canales que se puede producir debido a las altas temperaturas que registran los incendios
- Se deben cubrir las áreas de riesgo de Europa y el resto del mundo
- La distribución de los datos será a cada uno de los países implicados y a todos los niveles a los que sea necesario

Actualmente se está celebrando la tercera conferencia, cuyos principales objetivos son la validación de las prestaciones de FUEGO y la definición del sistema que generará los productos de FUEGO en los servicios de lucha contra incendios.

Los requisitos que tras todos estos contactos han sido aportados por los usuarios y que han dado lugar a la definición del sistema se listan a continuación

- Tiempo medio de detección de fuegos de 15 minutos
- Mínimo fuego detectable de 50 m²

Misión FUEGO

La mejor opción para cubrir los requisitos de usuario de óptimo tiempo de revisita, máxima cobertura y vigilancia continua, consiste en una constelación de

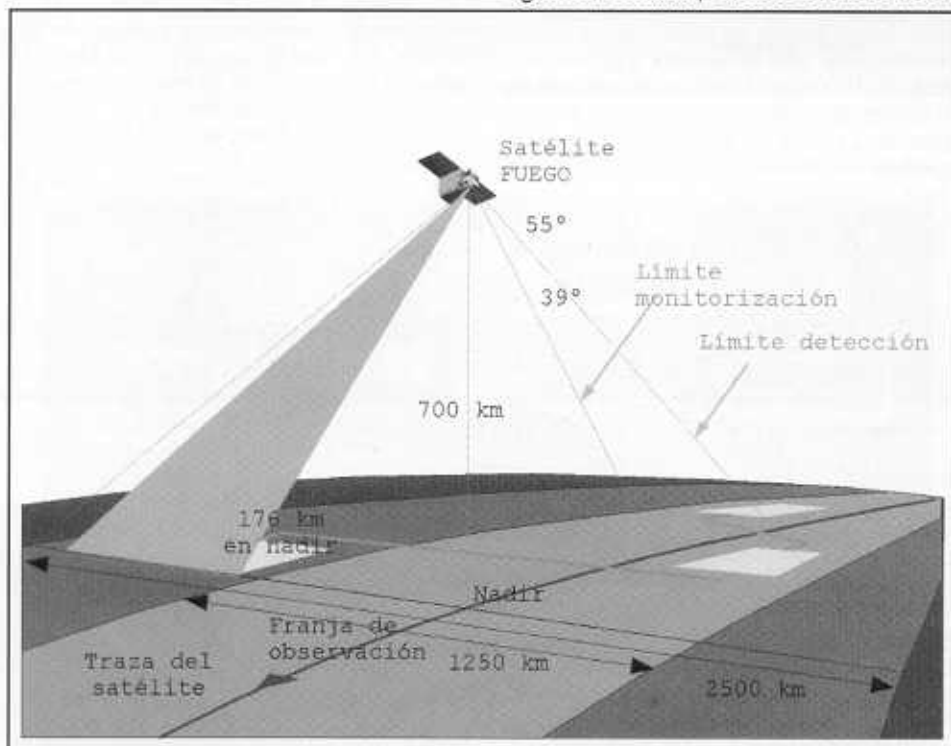


Figura 2: Configuración geométrica de la misión

doce mini-satélites de órbita baja con inclinación 47.5° y altura 700 Km. Los satélites se encuentran repartidos en tres planos orbitales, cuatro por plano, ofreciendo así una continua vigilancia y un tiempo medio de revisita de 23.8 minutos.

El sistema observa únicamente las áreas de riesgo seleccionadas usando la tecnología disponible de detectores. Las cámaras están equipadas con un espejo común y con mecanismos de apuntamiento que permiten la selección de las áreas de observación.

Áreas de vigilancia

El sistema prevé la cobertura de las áreas de riesgo concentradas en las latitudes de bosques templados, esto es entre los 37 ° y 46° de latitud en ambos hemisferios. La observación de FUEGO se realiza de forma que únicamente las áreas previamente seleccionadas son observadas, optimizando así el tiempo de observación y las prestaciones del sistema.

La mejor realización de las observaciones se desarrolla maximizando el área de exploración y teniendo en cuenta las siguientes limitaciones: prioridades de observación dadas por los usuarios, calidad de imagen, mínimo de maniobras del satélite, mínimo de movimientos del espejo, mínimo de reflejos solares, homogeneidad de las áreas de cobertura y mínimas áreas oscuras producidas por la topografía del terreno.

Instrumento

Los satélites FUEGO están dotados de cuatro cámaras, infrarrojo térmico, infrarrojo medio, infrarrojo próximo y visible. La detección de los focos de calor se realiza mediante las cámaras de infrarrojo

medio. La cámara térmica se usa para la obtención de información adicional a cerca de la presencia del fuego y para el filtrado de las posibles falsas alarmas. La infrarroja cercana y la visible aportan información sobre el viento y la presencia de humo, la cual es muy valiosa en detección de fuegos y en discriminación de falsas alarmas. Por otra parte, la cámara visible permite la obtención de índices de vegetación, determinación de riesgo de ignición o la clasificación de alarmas según el daño potencial.

Segmento terreno

Las operaciones de telemetría y telecomandos se realizarán desde una estación central de control, llamada estación terrena primaria (PGS), que estará situada en la Europa Occidental. Asimismo en esta estación estará el núcleo del segmento terreno, denominado centro de control de la misión (MCC). Este centro es el encargado de generar los planes de observación y los comandos así como de analizar los datos de telemetría provenientes de los satélites y apoyar las comunicaciones con las instalaciones de los usuarios.

Para la actualización del plan de tareas del instrumento para órbitas fuera de la zona de influencia de la PGS es necesaria una nueva estación que se denomina estación terrena secundaria (SGS). Esta estación podría estar localizada en USA.

Las instalaciones de los usuarios consisten en estaciones terrenas distribuidas local y regionalmente. Mediante un sistema de banda L se reciben los datos de los satélites. En estas instalaciones es donde se realiza la de-compresión, procesamiento de datos brutos y elaboración de productos finales listos para distribuir a puestos de mando avanzados.

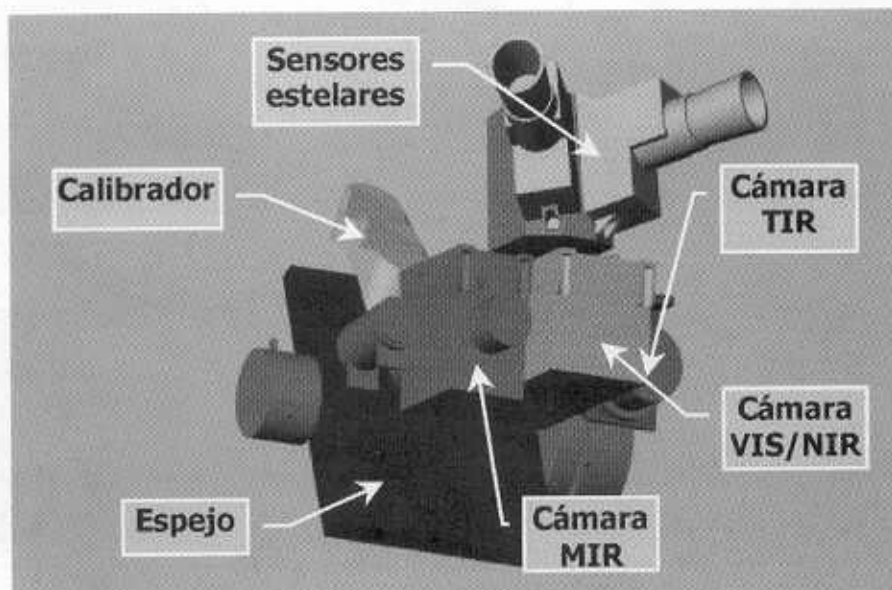


Figura 3: Instrumento de FUEGO

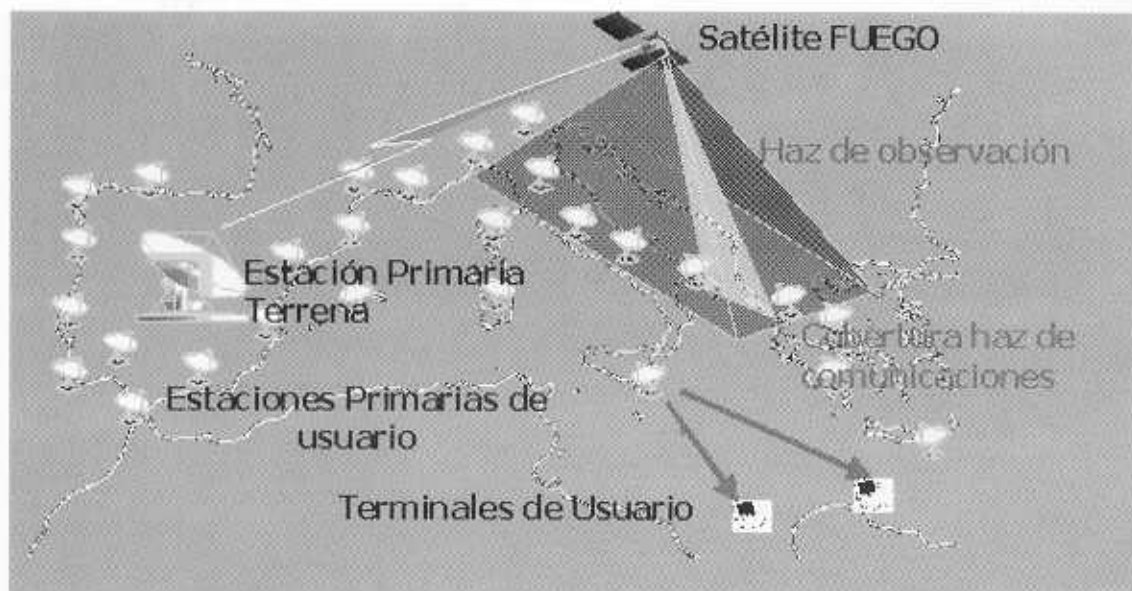


Figura 4: Segmento terreno

Operación del sistema

Diariamente los usuarios podrán actualizar las áreas a vigilar en función del riesgo existente y serán enviadas al MCC desde las estaciones primarias de usuario. Una vez que la MCC ha recogido y gestionado los mapas de AOS propuestos por los usuarios, realiza una simulación de la cobertura usando datos de vuelo del satélite para confeccionar así el patrón de exploración u observación.

La MCC generará un plan de observación para la planificación interna y la generación de comandos. Este plan contendrá las tareas (referenciadas en tiempo) que serán ejecutadas por los espejos del instrumento, así como el apuntamiento requerido por el satélite.

A continuación la MCC programará todas las operaciones de los satélites y generará los apropiados telecomandos que se transmitirán al satélite.

La transmisión de los datos a tierra se realiza en tiempo real. Ya en tierra, los datos brutos se procesan en la estación de usuario para dar lugar a los productos finales de FUEGO.

Algoritmo de detección de fuegos

El algoritmo de detección de fuegos se basa en la apropiada combinación de la información tomada por los diferentes canales espectrales del instrumento FUEGO.

El canal MIR detecta los píxeles de fuego, aunque esta información puede ser distorsionada por otros elementos del suelo también a altas temperaturas. Por esta razón, otros sistemas automáticos, que sólo

cuentan con el infrarrojo medio, tienen un rango alto de falsas alarmas. Sin embargo el algoritmo basado en las característica multispectral del sensor reduce de forma notable las falsas alarmas.

La siguiente figura, con imágenes tomadas desde un simulador aerotransportado, contiene información correspondiente a los cuatro canales de FUEGO. El algoritmo de detección se ejecuta sobre cada canal, en primer lugar se usa el MIR que selecciona los píxeles que potencialmente pueden contener fuego. Posteriormente el canal VIS o el rango VIS-MIR descartan los objetos especulares o los de reflectividad muy alta. Finalmente, la diferencia de la temperatura aparente de los canales MIR y TIR suprime las falsas alarmas que serían originadas por otras superficies calientes distintas de incendios.

Equipo de FUEGO

La empresa española INSA lidera el consorcio a cargo del desarrollo del Proyecto FUEGO, formado por empresas de seis países europeos, entre las que se encuentran firmas como Alcatel Space de Francia, Officine Galileo de Italia o la Agencia Aeroespacial Alemana (DLR). A su vez el equipo de FUEGO está constituido por científicos europeos entre los que se encuentran los pertenecientes a la Universidad de Valladolid de España, la Universidad de Tesalónica en Grecia y la Universidad de Calabria en Italia. En este consorcio se incluye un grupo de usuarios con representantes de los países de la Europa mediterránea, como es el caso de la Dirección General de Conservación de la Naturaleza de España, el Servicio Forestal de la Región de Lombardía y el Centro Nacional de Información Geográfica de Portugal entre otros.

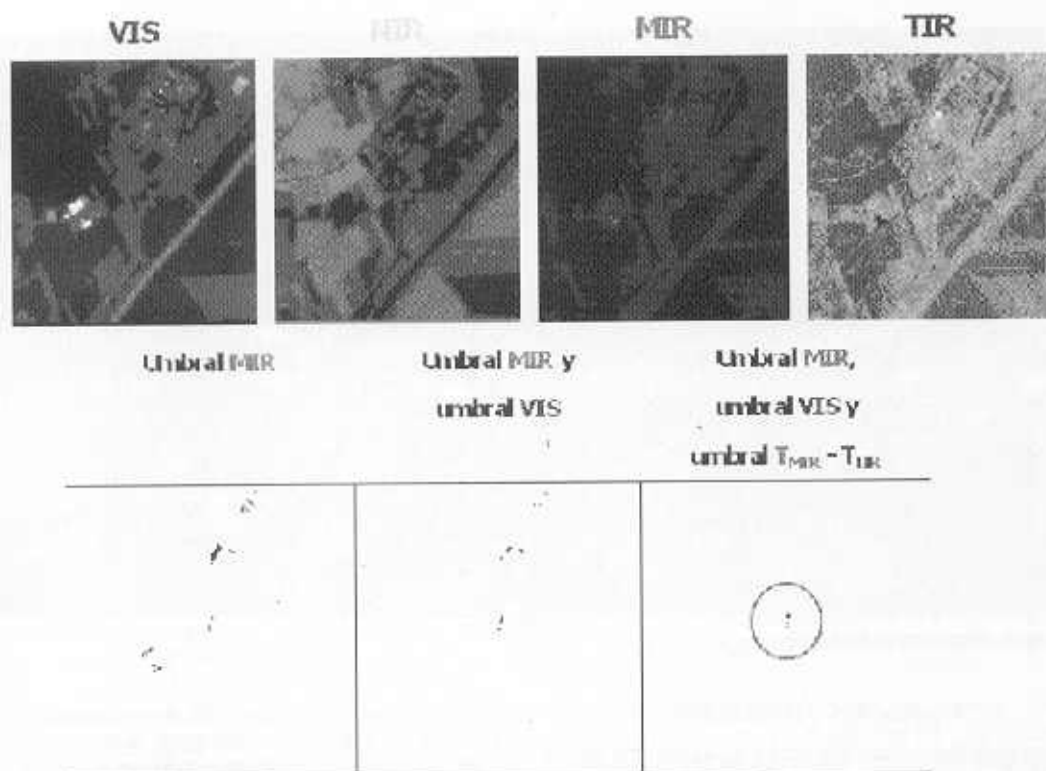


Figura 5: Ilustración del algoritmo de detección de incendios

RESULTADOS

El sistema FUEGO con las capacidades descritas previamente dará lugar a los productos de detección y monitorización que serán directamente utilizados por el usuario.

El producto de detección consiste en la posición del incendio, tamaño, intensidad, toponímico y nivel de confianza de la alarma. Esta información puede ser ampliada con la residente en la base de datos del usuario y podrá ser visualizada en un Sistema de Información Geográfica. Los datos de detección llegarán de forma totalmente automática al usuario, una vez que ha saltado la alarma y serán integrados directamente en sus sistemas.

El producto de monitorización consiste en la línea de fuego, su geometría, posición e intensidad. La adquisición de este producto se podrá realizar de dos formas diferentes: automáticamente, cuando el tamaño del incendio detectado supera las 25 ha se genera una orden de monitorización automática y el usuario recibe el producto sin solicitarlo, y manualmente, cuando la petición de monitorización es el propio usuario el que la realiza.

Los productos FUEGO podrán ser combinados por el usuario en su SIG permitiendo obtener productos de valor añadido como es la evolución del incendio, datos sobre el área quemada,...

Es importante destacar el papel que los productos de detección y monitorización pueden tener en el uso y

desarrollo de simuladores de propagación de incendios. Debido a la alta resolución temporal de estos productos, los modelos pueden ser gestionados de una forma más efectiva, dando lugar a resultados más fiables y de gran valor para los usuarios.

El sistema FUEGO ha sido diseñado tratándose de ajustar lo más posible a los requisitos establecidos por los potenciales usuarios, esto ha dado lugar al sistema previamente diseñado que tiene las siguientes prestaciones, las cuales han sido ya validadas:

- Tiempo de detección de 15 minutos de media y 25 minutos de máximo
- Tamaño del mínimo fuego detectado oscila entre los 20 y los 220 m². Esto se debe a la larga franja de observación del satélite, en cuyo límite se disminuye la resolución de la observación
- La precisión de la geo-localización de la alarma depende del tiempo empleado en procesarla, instantáneamente se obtiene 180-450 metros y después de cuatro minutos 65-240 metros
- La clasificación de la alarma es en términos de intensidad y daño potencial
- La discriminación de falsas alarmas ha sido especificada del 5 %

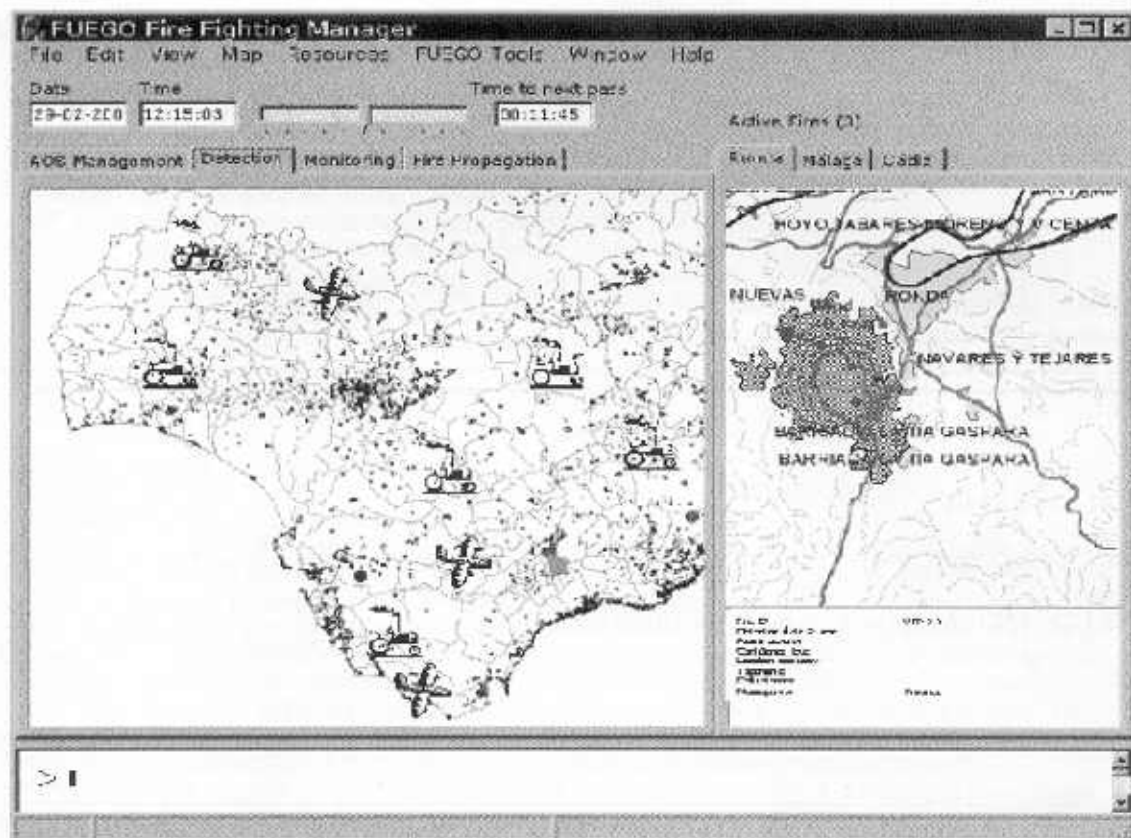


Figura 6: Propuesta del futuro interfaz del usuario

- Automáticamente se activa una orden de monitorización cuando el tamaño detectado de incendio supera las 25 hectáreas, en otros casos el usuario es libre de solicitar o no esta prestación.
- La resolución de las imágenes de monitorización es diferente para cada cámara, para el infrarrojo es de 80 metros aunque ésta se mejora usando la cámara visible de 20 metros.
- La frecuencia de adquisición de las imágenes de monitorización oscila entre los 25 minutos y los 90 dependiendo de la resolución de la imagen.
- El área de cobertura del sistema comprende 30 millones de hectáreas en Europa y otras tantas en el resto del mundo.
- La distribución de los datos se hará en tiempo real y a través de un sistema público de comunicaciones.

La visualización de los productos por el usuario, actualmente en proceso de definición, será similar a la ofrecida en la siguiente figura:

En el interfaz de usuario de la figura 6, se ofrecen dos vistas, una detallada donde se muestra el área de observación del usuario y en la cual aparecen las

alarmas detectadas y extinguidas, y otra más detallada con cada una de las alarmas e información asociada a la misma. También en esta última vista, aparecen el producto de monitorización, el resultado de la simulación de la propagación del incendio y el área incendiada.

FUEGO es un sistema totalmente orientado a los servicios contra incendios, pero sus potencialidades pueden ser explotadas en otras áreas como vulcanología, oceanografía, detección y seguimiento de vertidos marinos de petróleo, seguimiento de heladas, inventarios de terreno, mapas de riesgos de incendios... Actualmente dentro del marco del programa se están estudiando las capacidades del mismo en la vigilancia y observación de volcanes, así como la creación de mapas de riesgo a través del cálculo del índice NDVI o las posibilidades de inventariar el terreno.

En la actualidad el programa se encuentra al final de la fase de diseño detallado del instrumento, que incluye la construcción de un modelo de laboratorio. Este modelo será el que permita validar la tecnología del instrumento.

En paralelo se están realizando los estudios de la plataforma que se refieren a las fases de definición y diseño de la plataforma.

Se prevé la construcción de una constelación inicial formada por cuatro satélites para que dé servicio a mediados del año 2004 en el marco de los programas de Observación de la Tierra de la Agencia Espacial Europea. Esta primera constelación dará servicio ocho horas todos los días hasta que en 2005 esté el sistema final totalmente operacional.

CONCLUSIONES

FUEGO consiste en un sistema innovador que basado en tecnología espacial puede proveer de un

valioso servicio a una comunidad de usuarios muy restringida, como es el caso de los servicios de lucha contra incendios.

El verdadero valor de FUEGO es que su definición parte directamente de su interacción con los usuarios. Los cuales a través de entrevistas, conferencias y de su participación en el equipo de diseño han establecido sus necesidades y han contribuido a crear un sistema a su medida.

FUEGO constituye una valiosa herramienta en la protección del medio ambiente contra los incendios forestales.

BIBLIOGRAFÍA

- INSA. FR-128-000 (1998) "FUEGO Programme: FUEGO 1. Feasibility and Definition. Final Summary Report"
INSA TN-132-006 (1999) "Generic FFEW Utilization Concept"
-



REGISTRO AUTOMÁTICO DE IMAGENS DE SENSORAMENTO REMOTO MULTI-TEMPORAIS BASEADO EM MÚLTIPLAS RESOLUÇÕES

Fonseca, L. M. G¹ y M. H. M. Costa²

(1) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais 12.227-010 São José dos Campos, SP, Brasil

Fone: +55 122 345 6476 Fax: +55 12 345 6468 Email: leila@dpi.inpe.br

(2) Universidade Estadual de Campinas UNICAMP, Campinas, SP, Brasil

Fone: +55 19 788 3799 Fax: +55 19 289 1395 Email: Max@decom.fec.unicamp.br

RESUMO

Registro de imagens é uma das operações básicas de processamento de imagens na área de sensoriamento remoto. Com o aumento do número de imagens coletadas todos os dias por diferentes sensores, o interesse no uso de métodos de registro automático de imagens de diferentes sensores, multi-espectrais e multi-temporais tem sido cada vez maior. Este trabalho apresenta um algoritmo eficiente para o registro de imagens multi-temporais com respostas espectrais similares. O procedimento é completamente automático e baseia-se nos valores de níveis de cinza das imagens e nos máximos locais da transformada wavelet. O algoritmo é realizado usando a estratégia da decomposição da imagem em múltiplas resoluções, permitindo assim uma maior eficiência em termos computacional e de precisão de registro. O algoritmo de registro é muito simples, fácil de aplicar e razoavelmente eficiente em termos de complexidade computacional. Para ilustrar o desempenho do algoritmo de registro proposto, alguns resultados para o registro de imagens multi-temporais dos satélites Landsat 5-TM, SPOT e JERS são avaliados.

ABSTRACT

Image registration is one of the basic image processing operations in remote sensing. With the increase in the number of images collected every day from different sensors, automated registration of multi-sensor, multi-spectral and multi-temporal images has become an important issue. In this paper an efficient algorithm for the registration of multi-temporal images with similar spectral responses is proposed. The procedure is completely automatic and relies on the grey level information content of the images and their local wavelet transform modulus maxima. The algorithm is performed at progressively higher resolution, which allows for faster implementation and higher registration precision. The registration algorithm is very simple, easy to apply and reasonably efficient in terms of computational complexity. Some results of registering images of Landsat 5-TM, SPOT and JERS are provided to illustrate

the performance of the algorithm as well as measurements of its performance.

INTRODUÇÃO

Registro de imagens é o processo de sobreposição de duas ou mais imagens de uma mesma área geográfica, de modo que pontos das imagens que correspondem aos mesmos objetos de uma cena coincidam espacialmente. Este processo de casamento ou sobreposição é realizado através de uma transformação espacial adequada, que relaciona as coordenadas espaciais das imagens e modela a distorção geométrica entre elas.

O processo de registro é fundamental em várias aplicações em sensoriamento remoto. Com o aumento do número de imagens coletadas, o problema de registro automático de imagens tem despertado muito interesse na comunidade de sensoriamento remoto que, tradicionalmente, usa o método de registro manual.

Existe um grande número de métodos de registro automático de imagens que podem ser aplicados em casos específicos e que produzem resultados úteis, dentro de suas limitações (Fonseca, 1996). Neste trabalho apresenta-se uma metodologia de registro automático para o registro de imagens multi-temporais. O procedimento é completamente automático e baseia-se nos valores de níveis de cinza das imagens e nos máximos locais da transformada wavelet. A principal restrição do método é que ele é mais apropriado para registrar imagens com respostas espectrais similares, pois o algoritmo usa a informação radiométrica dos pixels no processo de casamento de feições para obtenção dos pontos de controle. Além disso, o ângulo de rotação e escala entre as imagens devem ser pequenos. O problema de escala é resolvido através da reamostragem das imagens para um mesmo tamanho de pixel. A diferença de rotação para as imagens de satélites é irrelevante posto que a diferença de rotação entre as imagens, normalmente, é pequena ou é previamente conhecida.

O método adota basicamente três estratégias: (1) filtragem de ruído speckle, no caso do registro de imagens de radar; (2) uniformização de escala, no a

caso das imagens terem diferentes tamanhos de pixels; (3) análise em multi-resolução. As imagens são decompostas em vários níveis de resolução através da transformada wavelet. Na primeira fase do algoritmo, o registro é realizado no nível de resolução o mais baixa (quantidade de dados reduzida) e com uma precisão de registro grosseira. Numa segunda etapa, a precisão de registro é refinada à medida que o processo é realizado nas resoluções progressivamente mais altas, permitindo assim uma maior eficiência em termos computacional e de precisão de registro. O algoritmo de registro é simples, fácil de ser utilizado e razoavelmente eficiente em termos da complexidade computacional. Para ilustrar o desempenho do algoritmo de registro automático proposto, alguns resultados para o registro de imagens multi-temporais dos satélites Landsat 5-TM, SPOT e JERS são avaliados.

Na próxima seção apresenta-se uma pequena introdução sobre a análise em multi-resolução e a transformada wavelet. Nas seções seguintes apresentam-se o método de registro, os resultados obtidos e algumas conclusões sobre o trabalho.

ANÁLISE EM MULTI-RESOLUÇÃO

A noção de resolução de um sinal está associada com o conteúdo em frequência do sinal. A análise em frequência pode ser realizada usando a transformada de Fourier, que decompõe o sinal em funções senos e cossenos de diferentes frequências. Quanto maiores as frequências das componentes presentes neste sinal, melhor a resolução espacial do sinal (mais detalhes). Dizemos que quando o conteúdo de informação de frequências altas de um sinal diminui, a resolução deste sinal também diminui.

As informações contidas em uma imagem podem ser analisadas através de uma decomposição em múltiplas resoluções. Esta decomposição pode ser implementada usando um banco de filtros (filtros passa-altas e passa-baixas) que separa as frequências espaciais altas (detalhes na imagem) das frequências espaciais baixas (imagem de resolução baixa). Os filtros passa-baixas eliminam as componentes de alta frequência do sinal e, portanto, diminuem a sua resolução mantendo somente as componentes em baixas frequências. Esta decomposição pode ser realizada recursivamente em vários níveis de resolução, como mostra a Fig. 1.

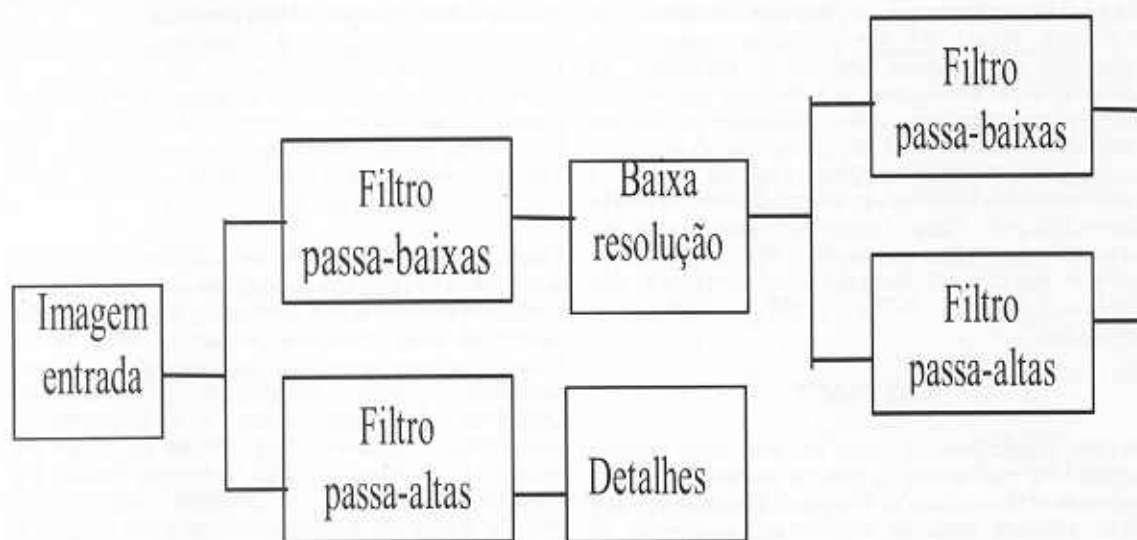


Fig.1 - Decomposição em múltiplas resoluções.

O procedimento de decompor um sinal original em um sinal de aproximação grosseira (filtragem passa baixas) mais a informação de detalhe (filtragem passa-altas) está relacionado com a análise de sinais em multi-resolução que, quando repetido de modo iterativo, cria uma hierarquia de sinais de baixa resolução. Para reduzir a quantidade de dados, o

sinal filtrado pode ser sub-amostrado de tal forma que, a cada mudança do nível de resolução, ele tenha a metade do número de amostras (1/4 das amostras no caso de imagens). Por causa da hierarquia de diferentes resoluções e do fato que os sinais sub-amostrados tornam-se cada vez mais curtos (ou imagens menores), tais

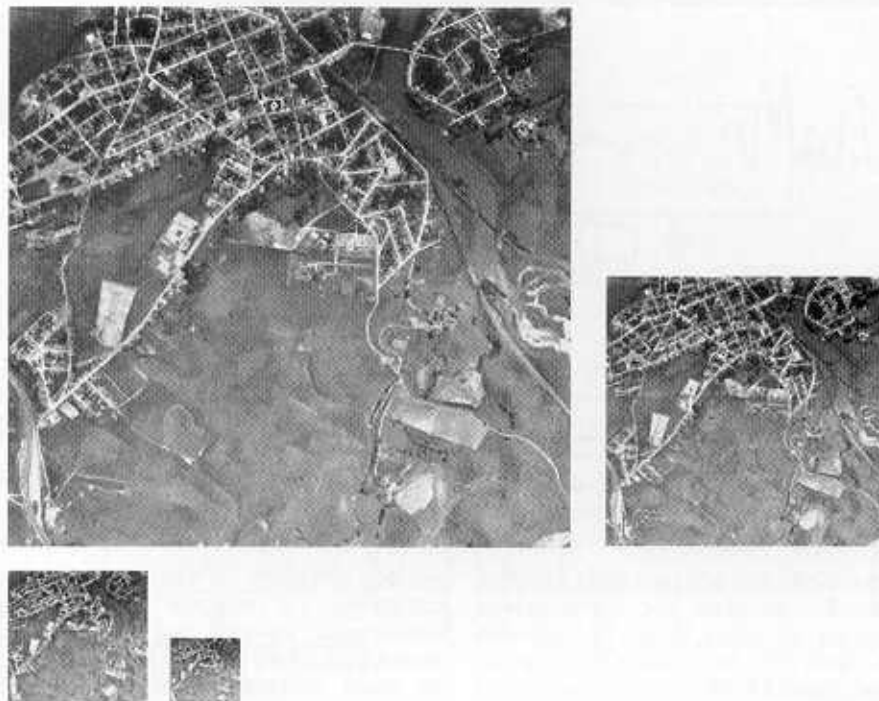


Fig.2 - Pirâmide de imagens : decomposição de uma imagem em diferentes níveis de resolução; (a) 512x512 (b) 256x256 (c) 128x128 (d) 64x64 pixels.

esquemas são chamados de pirâmide de sinais ou de imagens. A Fig.2 mostra uma pirâmide de imagens com quatro níveis de resolução.

Transformada wavelet

Wavelets são funções que satisfazem certos requisitos matemáticos e que se assemelham a pulsos de ondas. Similares aos senos e cossenos na análise de Fourier, as wavelets são usadas como funções base na representação de outras funções. Uma wavelet básica deve satisfazer a condição

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(x) dx = 0$$

A família de funções

$$x\psi_{a,b}(x) = |a|^{-1} \psi\left(\frac{x-b}{a}\right) \quad \text{com } a, b \in \mathbb{R}, a \neq 0$$

geradas a partir da wavelet básica dilatada por um fator de escala a e transladada de b são chamadas wavelets. O índice a está relacionada com a largura da função wavelet e o índice b com a sua posição no domínio espacial. A correlação de um sinal unidimensional f com as wavelets, dada por

$$W_a[f(x)] = |a|^{-1} \int_{-\infty}^{\infty} f(u) \psi\left(\frac{x-u}{a}\right) du = f * \psi_a(x),$$

$$\text{onde } \psi_a(x) = \left(\frac{1}{a}\right) \psi\left(\frac{x}{a}\right),$$

é chamada de transformada wavelet (TW). Esta transformação produz os coeficientes wavelet $W_a[f(x)]$ na resolução a e posição x . A wavelet ψ_a pode ser interpretada como a resposta impulsiva de um filtro passa-banda, e a transformada wavelet de um sinal como a convolução deste sinal com uma família de filtros dilatados. A translação corresponde ao deslocamento do filtro sobre o sinal e a dilatação corresponde à mudança na largura da faixa de frequência do filtro. Desta forma, o processamento pode ser realizado em diferentes resoluções e em diferentes regiões do sinal. Quanto maior o parâmetro a , maior a porção do sinal que está sendo analisada, e portanto características mais grosseiras (componentes de baixa frequência) do sinal são medidas pelos coeficientes da transformada wavelet. Similarmente, detalhes mais finos (altas frequências) são analisados quando o parâmetro de resolução da wavelet é menor. A Fig. 3 ilustra o processo de como se obtêm os coeficientes da transformada wavelet. Na Fig. 3(a) o valor do coeficiente, $C_{1,1}$, é menor do que o valor do coeficiente na Fig. 3(c), $C_{2,2}$, porque em (a) a porção do sinal que a wavelet está correlacionando possui menor variação (pouco detalhes).

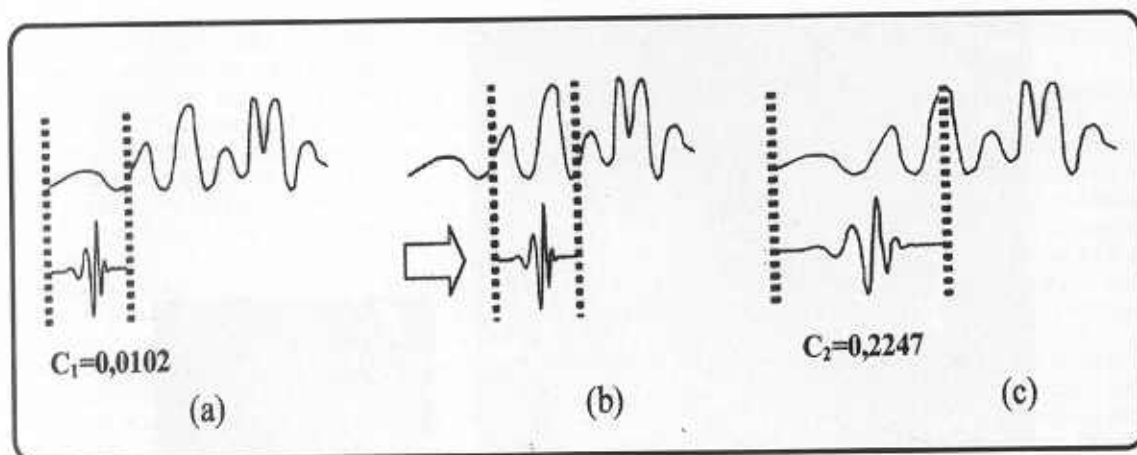


Fig. 3 - Cálculo dos coeficientes da transformada wavelet. (a) sinal a ser decomposto (acima) e a wavelet (abaixo); (b) a wavelet se desloca para direita; e (c) a wavelet é dilatada (aumenta o parâmetro a).

A transformada wavelet é usada para fazer a análise em multi-resolução, podendo ser implementada usando um banco de filtros como foi mostrado anteriormente. Neste caso, são usados filtros passa-baixas e passa-altas. O filtro passa-baixas gera os sinais em diferentes resoluções enquanto o filtro passa-altas gera os sinais que carregam informações de detalhes. Os coeficientes dos filtros são deduzidos a partir da função wavelet escolhida. A teoria da transformada wavelet pode ser vista, com mais detalhes, em Mallat (1989, 1998).

METODOLOGIA

O método que se propõe usa a transformada wavelet para decompor as imagens em vários níveis de resolução (Fonseca, 1997a, 1997b). A implementação da transformada wavelet, usada neste trabalho, gera 3 sub-imagens, em cada nível de resolução, as quais denominam-se de sub-imagens L, V e H. A sub-imagem L é a imagem semelhante a imagem original mas com resolução menor, e as sub-imagens H e V são as sub-imagens cujos valores dos pixels (coeficientes da TW) correspondem aos gradientes nas direções horizontal e vertical, respectivamente, em cada nível de resolução.

Vamos denominar a imagem a ser registrada de imagem de ajuste e a imagem com a qual será registrada a imagem de ajuste, de imagem de referência. As etapas do método de registro são ilustradas na Fig. 4. Inicialmente as imagens podem ser filtradas para reduzir algum ruído ou reamostradas para que elas fiquem com, aproximadamente, o mesmo tamanho de pixel. No caso das imagens de radar usamos o filtro gama para redução de ruído *speckle* (Oliver e Quegan, 1998). Posteriormente, as imagens são decompostas, usando a transformada wavelet, em K níveis de resolução. A próxima fase consiste em identificar as feições salientes nas imagens, em cada nível de resolução, que correspondem a pontos com

grandes variações de intensidade. Para isto, nós calculamos os máximos locais do módulo da transformada wavelet, para os diferentes níveis de resolução (Mallat e Zhong, 1992).

Na etapa seguinte realiza-se o casamento dos pontos de feições nas duas imagens. Para cada ponto na imagem de referência deve-se procurar um ponto na imagem de ajuste, que seja o seu ponto mais similar segundo um dado critério de similaridade. Este processo é chamado de casamento. Aqui, usamos a correlação como critério de similaridade porque esta medida tem mostrado melhor desempenho do que outras medidas de similaridade (Barnea e Silverman, 1972; Brunelli e Messelodi, 1995; Khosravi e Schafer, 1996). Além disso, a estratégia de multi-resolução permite reduzir o tempo de computação e a sensibilidade ao ruído nas imagens, que são as principais restrições ao uso dos métodos de correlação. O casamento inicial é realizado no nível de resolução mais baixa da decomposição wavelet. Neste ponto, alguns falsos casamentos podem ocorrer. Esta é a fase mais importante do processo de registro. Se os parâmetros do registro inicial forem incorretos o registro final falha. Desta forma, para eliminar estes falsos casamentos uma sequência de testes de consistência é realizada. Este procedimento gera um conjunto de pontos de controle, os quais são usados para calcular a função de transformação inicial que será usada para registrar as sub-imagens L no K-ésimo nível de resolução. Uma transformação afim 2D é usada para modelar a distorção entre as imagens.

Os processos de casamento e cálculo dos parâmetros da função de transformação são realizados em resoluções progressivamente mais finas. Em cada nível da decomposição os parâmetros são refinados até chegar no resultado final no nível de resolução 0, que é a resolução das imagens originais. Basicamente, o algoritmo precisa de dois parâmetros: K e B . K define o número de níveis de

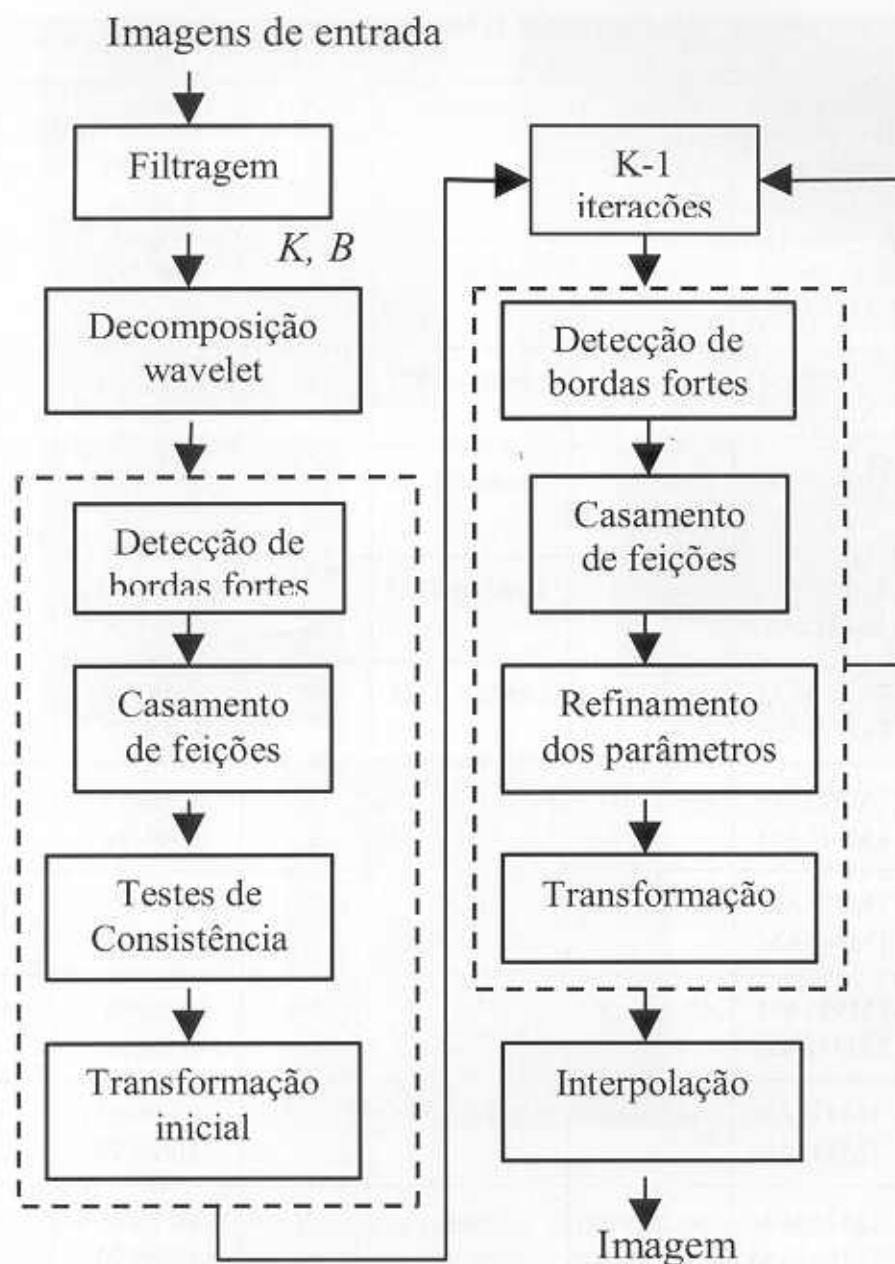


Fig.4 - Diagrama de blocos do método de registro de imagens automático.

decomposição da transformada wavelet e B controla o número de feições extraídas nas imagens. Este parâmetro está relacionado com um limiar, T , de tal forma que se o módulo da transformada wavelet de um ponto for maior do que T o ponto é detectado.

RESULTADOS

Mostramos, a seguir, alguns resultados experimentais que foram realizados para ilustrar o desempenho do método. A Tabela 1 descreve as informações das imagens usadas nos testes.

TABELA 1: Imagens testes.

Teste	Imagens	Região	Satélite	Banda	Data	Área
1	TM925AM TM945AM	Amazônia	Landsat-TM5	5	07/06/92 15/07/94	floresta
2	TM925AM TM945AM	Amazônia	Landsat-TM5	5	07/07/97 03/08/95	floresta
3	TM925AM TM945AM	Amazônia	Landsat-TM5	5	20/07/96 15/07/94	floresta
4	TM925AM TM945AM	Itapeva	Landsat-TM5	5	09/09/90 18/07/94	agricultura
5	TM925AM TM945AM	Itapeva	Landsat-TM5	5	09/09/90 18/07/94	agricultura (georef.)
6	TM925AM TM945AM	Agudos	Landsat-TM5	5	09/07/94 21/09/92	agricultura
7	TM925AM TM945AM	São Paulo	SPOT Landsat-TM5	3 4	08/08/95 07/06/94	urbana
8	TM925AM TM945AM	Brasília	SPOT Landsat-TM5	3 4	08/08/95 07/06/94	urbana
9	TM925AM TM945AM	Amazônia	JERS-1	X	26/06/93 13/08/96	floresta
10	TM925AM TM945AM	Amazônia	JERS-1	X	26/06/93 10/10/95	floresta
11	TM925AM TM945AM	Amazônia	JERS-1	X	10/10/95 13/08/96	floresta

Com exceção do último teste, em que as imagens JERS-1 têm 4000x5920 pixels, os pares de imagens têm tamanho 512x512 pixels. Além disso, todas as imagens possuem um bom nível de correção geométrica.

Nos testes 1, 2 e 3, selecionamos três pares de imagens multi-temporais da região Amazônica, que são recortes daquelas usadas no monitoramento desta região (Batista et al., 1994). Normalmente, o registro automático destas imagens apresentam certas dificuldades devido à informação de textura (floresta) e às diferenças provocadas pelo

desmatamento na região. As Figs. 5(a) e 5(b) mostram as imagens de referência e de ajuste, respectivamente. As Figs. 5(c) e 5(d) mostram os pontos de controle sobrepostos às imagens na resolução mais baixa. A Fig. 5(e) mostra o resultado do registro.

Nos testes 4, 5 e 6, as imagens são de regiões de agricultura. Estas imagens apresentam, nitidamente, diferenças devido às mudanças sazonais. O par de imagens do teste 5 (Tabela 1) apresenta uma diferença de rotação de mais de 10.

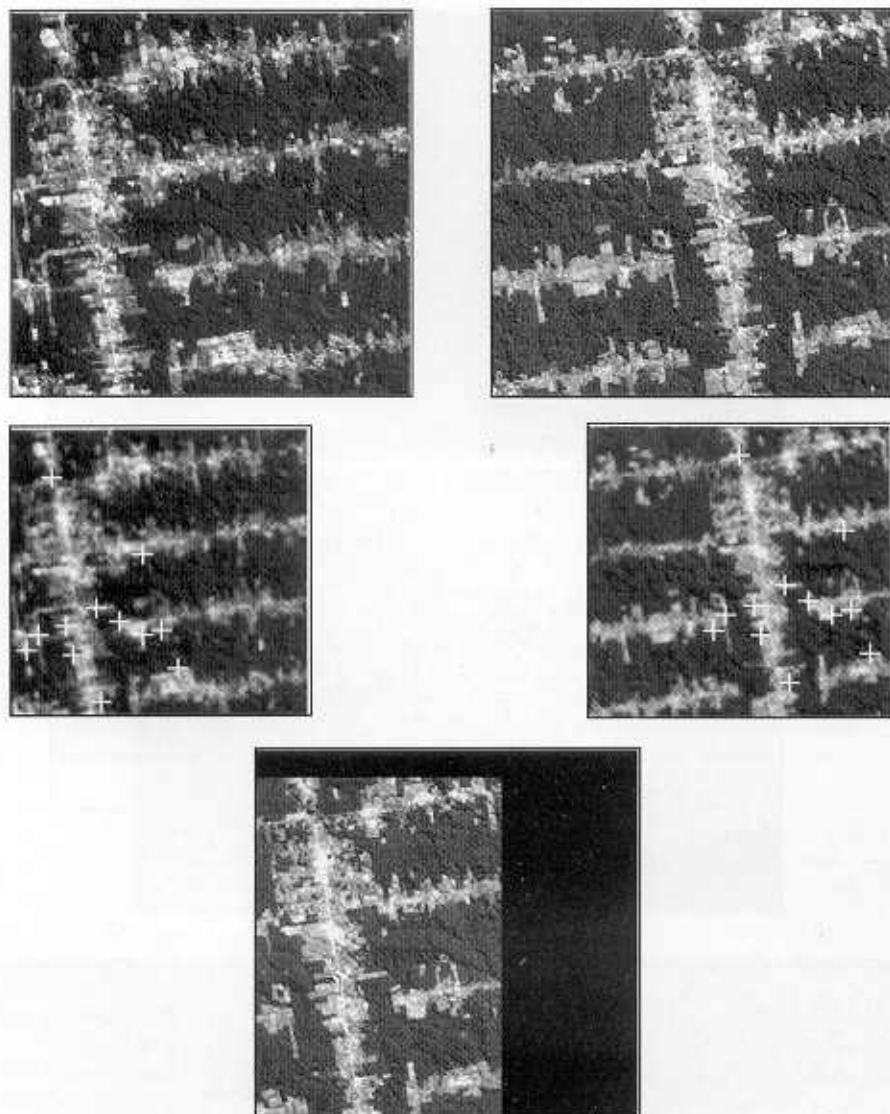


Fig. 5 - Imagens da Amazônia: (a) imagem de referência - TM945AM; (b) imagem de ajuste - TM925AM registrada; (c) e (d) mostram os pontos de controle iniciais sobrepostos às bandas L de TM945AM e TM925AM.

Para verificar o desempenho do algoritmo para registro de imagens multi-temporais, de diferentes sensores com bandas similares, escolhemos dois pares de imagens de áreas urbanas, dos satélites SPOT e Landsat-TM5 (testes 7 e 8). As bandas 3 (0,79-0,84 m) do SPOT e 4 (0,79-0,84 m) do TM ocupam, praticamente, a mesma faixa do espectro eletromagnético e possuem uma boa resposta a alvos de área urbana. A imagem SPOT foi reduzida para um tamanho de pixel de 30 metros e selecionada como imagem de ajuste. No teste 7, as imagens apresentam uma diferença de rotação de 7°.

Para testar o potencial do método no registro de imagens de radar, selecionamos três pares de imagens multi-temporais do sistema JERS-1 (testes 9, 10 e 11). Antes do processo de registro as imagens foram processadas pelo filtro gama com 10 iterações, para redução do ruído *speckle*. As Figs. 6(a) e 6(b) mostram a imagem de referência e a imagem de ajuste JERS96B, após o registro. Estas imagens estão reamostradas, por isso não é possível ver com detalhes as diferenças provocadas pelas variações sazonais.

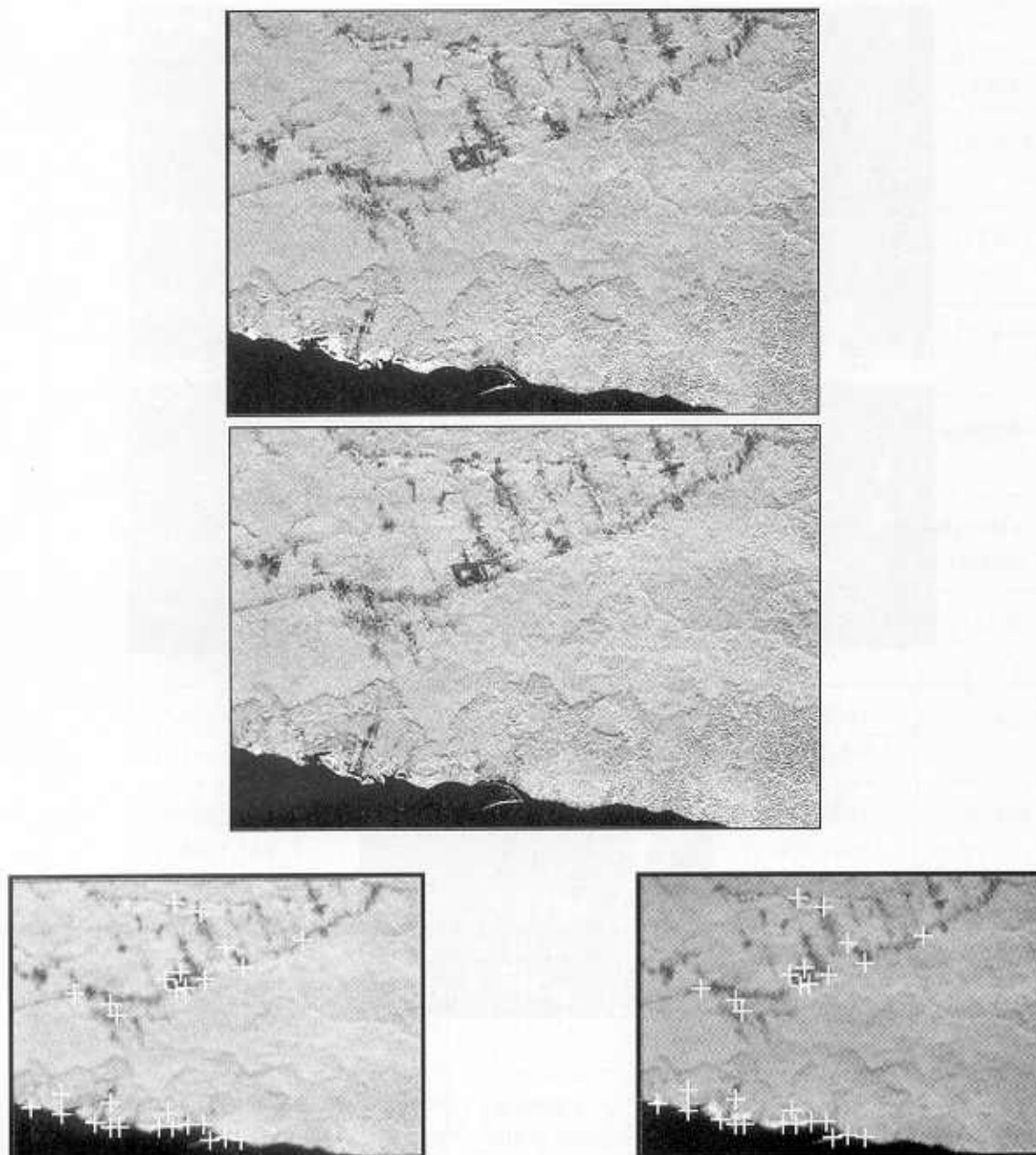


Fig. 6 - Imagens JERS: (a) imagem de referência - JERS95B ; (b) imagem de ajuste - JERS96B registrada; (c) e (d) mostram os pontos de controle iniciais sobrepostos às bandas L de JERS95B e JERS96B, respectivamente.

Os resultados foram avaliados usando a raiz quadrada do erro médio quadrático (RMSE) de registro. Afim de se obter resultados independentes, selecionamos um conjunto de pontos de controle diferentes daqueles usados no processo de registro automático das imagens, os quais chamaremos de pontos testes. Estes pontos foram adquiridos manualmente. Dada a função de transformação,

obtida através do registro automático, e este conjunto de pontos testes, o erro RMSE é calculado para cada par de imagens testes. A Tabela 2 mostra os erros de registro (medidos em pixels) e tempos de processamento (em segundos). O tempo de processamento foi computado em uma estação SUN-ULTRA 30, 300 MHz e 640 Mbytes de memória, em condições similares para todos os testes.

TABELA 2: Erro de registro e tempo de processamento.

Teste	RMSE (Pixel)	Tempo (s)
1	0,787	29
2	0,655	31
3	0,828	29
4	0,989	27
5	0,828	42
6	0,344	28
7	0,434	29
8	0,915	29
9	1,101	30
10	0,699	26
11	0,866	10800

Para os testes 1 a 10, as imagens foram decompostas em dois níveis ($K=2$) de resolução e usado um valor de B igual a 3. As imagens do teste 11 foram decompostas em 6 níveis de resolução ($K=6$) e definido B igual a 1. Podemos observar, na Tabela 2, que, para a maioria dos casos, o erro de registro foi menor do que 1 pixel, o que é um indicativo da precisão do registro. As imagens do teste 11 apresentam muitos padrões que se repetem em toda a extensão das imagens dificultando, assim, o casamento correto das feições. No primeiro teste com estas imagens, o erro de registro tinha sido de 1,103 pixels. Para melhorar este resultado, uma pequena modificação no algoritmo foi realizada para que, no último nível de processamento, pudesse ser usada uma janela de correlação maior do que aquela definida no início do registro.

Em relação ao tempo de processamento podemos observar que o registro em multi-resolução é bastante eficiente. No teste 11, o tempo de 3 horas gasto no processamento pode ser considerado bom, considerando que um usuário experiente e com um prévio conhecimento da área de trabalho gastou, para realizar o registro manual, algumas horas. Devemos ainda observar que o tempo de processamento é muito influenciado pelo tipo de imagens a serem registradas.

CONCLUSÃO

Neste trabalho apresenta-se um método de registro automático de imagens de sensoriamento remoto multi-temporais. O método usa a estratégia de multi-resolução baseada na transformada wavelet. O algoritmo é fácil de ser aplicado porque ele precisa basicamente de dois parâmetros. A principal restrição do algoritmo é que ele é mais apropriado para registro de imagens com bandas espectrais similares. Foi mostrado, também, o potencial do algoritmo no registro de imagens de radar. Os resultados foram avaliados através do erro médio quadrático, que se mostrou bastante satisfatório.

Trabalhos futuros devem se direcionar para o desenvolvimento de métodos de registro de imagens que usem um modelo de elevação do terreno para corrigir o efeito da topografia, principalmente no caso de imagens de radar.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Dr. Diógenes S. Alves, Sérgio D. Faria o fornecimento de algumas imagens usadas neste trabalho, e ao Dr. J. F. Banon as valiosas discussões. Este trabalho foi parcialmente financiado pelo CNPq, Brasil.

BIBLIOGRAFÍA

- Barnea, D. I. y H. F. Silverman; (1972) "A Class of Algorithms for Fast Digital Image Registration". IEEE Trans. Computers, v. 21, n. 2, p. 179-186
- Batista, G. T.; Medeiros, J. S.; Mello, E. M. K.; Moreira, J. C. y L. S. Bins; (1994) "A New Approach for Deforestation Assessment". International Symposium on Resource and Environmental Monitoring; Proceedings v. 30, p.170-174, Rio de Janeiro, Brasil
- Brunelli, R. y S. Messelodi; (1995) "Robust Estimation of Correlation with Applications to Computer Vision". Pattern Recognition, v. 28, n.6, p. 833-841
- Fonseca, L. M. G. y M. H., Costa; (1997) "Automatic Registration of Satellite Images". Brazilian Symposium on Graphic Computation and Image Processing, 10; 1997a. Proceedings. Los Alamitos IEEE Computer Society, p.219-226, Campos de Jordão, Brasil
- Fonseca, L. M. G.; Costa, M. H.; Manjunath, B. S. y C. Kenny; (1998) "Automatic Registration of Satellite Imagery". Image Registration Workshop, 1; 1997b. Proceedings. Greenbelt NASA Goddard Space Flight Center, p.13-27, Greenbelt, MA, USA
- Fonseca, L. M. G. y B. S. Manjunath; (1996) "Registration Techniques for Multisensor Remotely Sensed Imagery". Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v.62, n.9, p.1049-1056
- Khosravi, M. y R. W. Schafer; (1996) "Template Matching Based on a Gray scale Hit-or-Miss Transform". IEEE Trans. on Image Processing, v.5, n.6, p.1060-1066
- Mallat, S. G. (1998) "A Wavelet Tour of Signal Processing". Academic Press, San Diego, USA
- Mallat, S. G.; (1989) "A Theory for Multi-resolution Signal Decomposition: the Wavelet Representation". IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, v.11, n.7, p.674-693
- Mallat, S. G. y S. Zhong; (1992) "Wavelet Máxima Representation". Wavelets and Applications, p.207-284 Paris, Francia
- Oliver, C. y S. Quegan; (1998) "Understanding Synthetic Aperture Radar Images". Norwood Artech House
-



EVALUACIÓN DEL CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA REGIÓN CITRÍCOLA DE NUEVO LEÓN, MÉXICO

Verástegui Ch., J.¹; Treviño G., E. J.²; Vázquez A., R.³; Pissanni, J.³ y E. Olivares³

(1) Estudiante del Programa Doctoral de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León

Email: verasj@yahoo.com

(2) Profesor Investigador Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nueva León

Email: ejtrevin@ccr.dsi.uanl.mx

(3) Profesor Investigador Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nueva León

RESUMEN

La región de estudio se ubica al Noreste de México, donde la principal actividad agrícola es la producción de cítricos. En este trabajo se estimó el cambio en uso de suelo entre 1970 y 1996 empleando imágenes del satélite LandSat TM. Se estimaron los cambios ocurridos entre 1986 y 1996 usando la diferencia en el Índice de Vegetación de Diferencias Normalizadas (NDVI) y por medio del análisis de componentes principales. Además, los cambios cualitativos se evaluaron comparando las superficies de cada clase temática entre 1970 y 1996. La imagen de 1996 se clasificó con el algoritmo de clasificación del conjunto básico de máxima probabilidad. La clasificación para 1970 se obtuvo digitalizando los mapas de Uso de Suelo editados por INEGI. Los resultados de la evaluación del cambio de uso de suelo, estimado a partir de la diferencia de la variable NDVI, mostraron 434.3 ha con disminución en la cubierta vegetal entre 1986 y 1996. Al hacer la evaluación con el análisis de componentes principales, este mostró 430.0 ha con disminución en la cubierta vegetal. Los cambios que ocurrieron en estas áreas fueron en áreas que en 1986 estaban cubiertas con Matorrales y que en el transcurso del tiempo se fueron incorporando al proceso agrícola de la región. La evaluación de los cambios cualitativos, entre 1970 y 1996, manifestó la expansión de la frontera agrícola de 30,597.0 ha a 38,591.3 ha. Esta expansión ocupó superficies que en 1970 estaban cubiertas con vegetación natural. Por consecuencia, la información generada en este trabajo demuestra que en 26 años la deforestación del área de estudio tuvo como finalidad la incorporación de áreas de vegetación natural al proceso de producción agrícola y en menor medida al crecimiento de las manchas urbanas.

ABSTRACT

The studied region is located to the Northeast of Mexico, where the main agricultural activity is the citrics production. In this work it was considered the change in land use between 1970 and 1996, using satellite images of the LandSat TM. It was estimated the changes that happened between 1986 and 1996, using the Index of Vegetation of Normalized

Differences (NDVI) and by the analysis of principal components. The qualitative changes, were evaluated comparing the surfaces of each thematic class, between 1970 and 1996. The image of 1996, was classified with the algorithm of classification of the basic group of maximum probability (MAXSET). The classification for 1970 was obtained digitizing the maps, of land use published by INEGI. The results of the evaluation of the change of land use, estimated from the difference of the variable NDVI, they showed 434.3 ha with a decrease in the vegetation cover between, 1986 and 1996. When making the evaluation with the analysis of main components, this showed 430.0 ha with a decrease in the vegetation cover. The changes that happened in these areas, were in areas that in 1986 they were covered with brushwood and that in the course of the time they were incorporated to the agricultural process of the region. The evaluation of the qualitative changes, between 1970 and 1996, manifested the expansion of the agricultural frontier of 30,597.0 ha to 38,591.3 ha. This expansion occupied surfaces, that in 1970 they were covered with natural vegetation. For consequence, the information generated in this work, demonstrates that in 26 years the deforestation of the studied area had as purpose the incorporation of areas of natural vegetation, to the process of agricultural production and in smaller measure to the growth of the urban stains.

INTRODUCCIÓN

El cambio en uso de suelo se refiere a la diferencia en las características superficiales entre fechas o secuencia de fechas (Eastman et. al., 1995). Las técnicas para estimar el cambio en uso de suelo se basan en el monitoreo de los cambios temporales en una misma área geográfica en diferente tiempo para determinar donde y como los cambios suceden. (Hoffer, 1978; Eastman et al, 1995).

El cambio en uso del suelo influye en la vocación de la tierra, por lo que en algunos casos, el uso del suelo no es el correcto y por consecuencia, se induce el proceso de deterioro del medio ambiente, acelerando el fenómeno de desertificación (Farnside, 1993). Este proceso trae por consecuencia una baja en la productividad del sector agrícola, pecuario y forestal.

debido a que se alteran los mecanismos homeostáticos del ecosistema. Los efectos se reflejan en la alteración de la intensidad de los procesos naturales, como son la erosión hídrica, erosión eólica, el contenido de materia orgánica, nutrimento en el suelo y problemas de contaminación al suelo como salinidad y sodicidad (De La Torre et al., 1983). Aunque la inercia del proceso de desertificación en caso extremo es natural, el cambio en el uso del suelo debido al aumento poblacional, y por consecuencia al crecimiento de los asentamientos humanos y al aumento en la necesidad de producir alimentos, afecta en forma directa el cambio de vocación de la tierra debido a un patrón de producción extensivo de amplio uso en el sector primario en el país. En el sur del área de estudio en condiciones ecológicas similares, se ha determinado que entre 1973 y 1986 las áreas dedicadas a la agricultura y a pastos se incrementaron, mientras que el matorral disminuyó en forma considerable y los bosques disminuyeron muy poco (Treviño, 1992). Se consideró que el matorral sufre una degradación debida a la extracción de leña y a que el pastoreo de ganado menor causa efectos irreversibles en la estructura y en la composición de especies vegetales (Treviño et al., 1996).

En el trabajo publicado por Correa en 1996, se muestra la información relacionada al cambio del uso de suelo en Linares y Hualahuises N.L., entre 1973 y 1996. Los cambios que observó fueron: la superficie dedicada a la agricultura de temporal disminuyó al igual que las áreas agrícolas de riego. Esta disminución la atribuye al abandono de tierras y al cambio de las áreas agrícolas a áreas de pastizal. La disminución más severa se localizó en el área de matorrales debido a desmonte, sobrepastoreo y extracción selectiva de leña.

MATERIAL Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en la región citrícola de Nuevo León (ver Figura 1). Esta área se localiza al Noroeste de México, en la parte central del estado de Nuevo León. Las principales actividades económicas corresponden al sector primario, resaltando las agrícolas y en menor proporción las ganaderas.



Figura 1. Localización del área de estudio

En el área el clima se clasifica como semicálido subhúmedo con lluvias en el verano. La precipitación oscila entre los 600 y 1000 mm anuales. La temperatura media anual es mayor a 18°C. Durante el invierno se presentan temperaturas inferiores a 0°C afectando de manera considerable a la actividad agrícola. El suelo predominante es vertisol que se caracterizan por su alto contenido de arcilla y baja susceptibilidad a los procesos erosivos. Las subunidades de suelo que sobresalen son Vertisol crómico (color pardo a rojizo, formados a partir de rocas calizas) y el Vertisol pélico de color oscuro. La vegetación dominante es de los tipos matorral submontano y matorral espinoso tamaulipeco, ambos con elevados índices de densidad en su distribución.

Preparación de la información digital. En este trabajo se utilizó la información digital de las imágenes de satélite LANDSAT TM, correspondientes a la órbita 27/43 del sistema de referencia mundial (WRS, World Reference System), tomadas en 1986, 1988 y 1996. Las imágenes se refirieron al datum NAD27 y se les asignó una resolución espacial de 28.5 m. También se digitalizaron las cartas de uso de suelo editadas por INEGI con la finalidad de tener información cualitativa del uso de suelo para 1970. En todos los casos las imágenes se ajustaron a los estándares establecidos (USGS, 1999; Dept. of Defense, 1994).

Diferencias del Índice de Vegetación de Diferencias Normalizadas (NDVI). En esta etapa se evaluaron las diferencias del Índice de Vegetación de Diferencias Normalizadas (NDVI) entre pares de fechas y se hizo una comparación múltiple del conjunto de imágenes de NDVI de 1986, 1988 y 1996. En principio, se generaron las imágenes del NDVI usando la banda roja y la banda infrarroja. Se corrieron dos procedimientos para estimar las diferencias en el NDVI, de acuerdo a lo establecido por Eastman et al. en 1995. El primero consistió en estimar las diferencias de los valores entre los pares de fechas seleccionadas. Como el promedio de estas diferencias, estadísticamente fue diferente a cero se realizó un segundo procedimiento en el cual por regresión lineal entre los pares de imágenes, se generó una nueva imagen para el tiempo $i+1$. Esta nueva imagen se comparó con la imagen del tiempo i . La comparación múltiple de las imágenes de NDVI consistió en aplicar el procedimiento del análisis de componentes principales (PCA) al conjunto de las tres imágenes de NDVI de las fechas 1986, 1988 y 1996. En este caso se consideró conveniente dar el mismo peso a las tres variables por lo que se usaron los valores estandarizados para cada imagen de NDVI. La interpretación de las imágenes correspondientes a los tres componentes generados se hizo en forma visual. La descripción de los resultados del PCA se hizo considerando que el primer componente conlleva la información relacionada a la variación típica del área y que el resto

de los componentes se asocian al cambio en uso de suelo (Chuvieco, 1996; Eastman et al, 1995).

Clasificación cualitativa. En las imágenes se identificaron áreas de entrenamiento representativas de cada clase temática. Con estas y la información de cada banda se generaron las firmas espectrales, las cuales se analizaron para determinar la congruencia entre las áreas de entrenamiento y las clases temáticas seleccionadas y la homogeneidad de las áreas de entrenamiento. Dadas las características tan especiales en el uso de suelo y la gran diversidad de sistemas de producción y diferentes tipos de cubiertas vegetales, se utilizó un procedimiento de clasificación del tipo rígido con comportamiento flexible. Este se basa en clasificar las imágenes utilizando la información de la firma espectral de cada clase. Para asignar el área a una determinada clase evalúa el grado de incertidumbre y en su caso asigna esta área a una nueva clase temática. Este método de clasificación de imágenes digitales se conoce como Conjunto Básico de Máxima Probabilidad (CBMP) (Eastman, 1997). Como la imagen generada por el algoritmo CBMP contiene información respecto a las áreas correspondientes a cada clase e información de las superficies clasificadas en las nuevas clases en función de la incertidumbre en la clasificación, se procedió a separar esta información. La imagen definitiva de cambio en uso de suelo se consideró solo la superficie clasificada con alta certidumbre, descartándose el resto de la superficie.

Estimación del cambio de uso de suelo. Una vez clasificadas las imágenes se procedió a retirar en todas las imágenes, las áreas que con el método de clasificación utilizado (CBMP) no fueron asignadas a las clases temáticas. Posteriormente se inició la comparación de la información cualitativa mediante comparaciones booleanas. Estas comparaciones se hicieron para cada posible combinación de los grupos temáticos en pares de fechas comparadas. Además, se analizó en un cuadro de doble entrada para cada posible combinación de cambio o no cambio en el uso

del suelo. En ese Cuadro la diagonal principal corresponde a la superficie que no tuvo cambio entre las dos fechas, la información fuera de esta diagonal se refieren a superficie que cambió entre 1970 y 1996.

RESULTADOS

Una vez terminado el procedimiento de ajuste geométrico, cada banda quedó registrada al datum NAD27 con una resolución de 28.5 m. El área de trabajo se limitó, recortando las imágenes a las siguientes coordenadas en la proyección Universal Transversa de Mercator (UTM): 411,568.5 W, 443,317.5 W, 2'782,256.0 N y 2'803,431.5 N.

Diferencia en el Índice de Vegetación de Diferencias Normalizadas (NDVI).

Se rechazó la igualdad a cero de las diferencias en el valor del Índice de Vegetación de Diferencias Normalizadas (NDVI), entre pares de fechas. Esto significa que existe un cambio global de la imagen, en los valores de NDVI. Es decir, que entre los pares de fechas comparados el cambio en el valor del NDVI ocurrió en el conjunto total de la imagen y no solo en algunas áreas específicas de la misma. Por lo que, una estimación del cambio en el valor de NDVI, con este procedimiento, sesgará los resultados.

Por lo anterior, se procedió a realizar ajustes en las imágenes mediante una regresión lineal entre pares de imágenes correspondientes a dos fechas. Con los valores del intercepto y de la pendiente se generó una nueva imagen. Esta nueva imagen fue considerada la imagen esperada en el tiempo (i+1). Es decir, tal y como se esperaba la imagen sin que existiera un cambio global del área.

En el Cuadro 1, se presenta la información correspondiente a la diferencia entre las imágenes del tiempo i y la nueva imagen generada por regresión para el tiempo i+1. Se observa que el promedio de las diferencias entre NDVI tienden a ser cero por lo que los valores de los umbrales para decidir el tipo de cambio ocurrido en la diferencia de las imágenes es muy similar a ambos lados del valor promedio de la diferencia entre las imágenes.

Cuadro 1. Parámetros estadísticos para las diferencias entre fechas, variable NDVI ajustada por regresión entre imágenes.

Imágenes comparadas	Promedio de las diferencias	Desviación Estándar de las diferencias
1988 - 1986	4.4×10^{-07}	0.140
1996 - 1986	9.3×10^{-08}	0.150
1996 - 1988	1.9×10^{-07}	0.137

Nota. La hipótesis estadística $\mu = 0$ se aceptó al 99% de probabilidad

Los cambios, en las diferencias del valor del NDVI, entre 1986 y 1996 fueron negativos. Es decir, estadísticamente el valor de NDVI fue menor en algunas áreas de 1996 respecto a las mismas áreas de 1986. Solo se consideraron las superficies mayores a 5 hectáreas. Las áreas señaladas se refieren a cambios que una vez verificados coinciden con áreas dedicadas a la agricultura en 1996 y que en 1970 estaban cubiertas por Matorral espinoso y algunas áreas de Mezquital. La superficie en la que disminuyó el valor del NDVI de 1986 a 1996 se estimó en 434.3 ha, con este procedimiento.

Comparación múltiple del conjunto de imágenes de NDVI. Los tres componentes explicaron respectivamente, el 62.70, 23.42 y el 13.88% de la varianza total de las imágenes de NDVI generadas para 1986, 1988 y 1996. Porque el componente 1 explica la varianza del conjunto de la información ori-

ginal de las bandas, este representa el patrón típico de vegetación contenida en las tres imágenes de NDVI. Por lo que, el segundo componente será el primer componente de cambio ya que este es ortogonal al primero y es el segundo en términos de varianza explicada. Por consecuencia el tercer componente representa el segundo componente asociado al cambio de vegetación en el área de estudio y así sucesivamente (Eastman, 1995). Para nuestro estudio es de interés estudiar el segundo componente el cual resalta los cambios en uso de suelo en el conjunto de las tres imágenes en el área de estudio. Para esto se generó la imagen de la Figura 2. En esa figura se resaltan las áreas que presentaron cambio según el análisis de componentes principales. Con este procedimiento la superficie que se estimó con disminución en el valor de NDVI fue de 430.0 ha muy similar a las 434.3 ha estimadas con el procedimiento de diferencias entre imágenes.

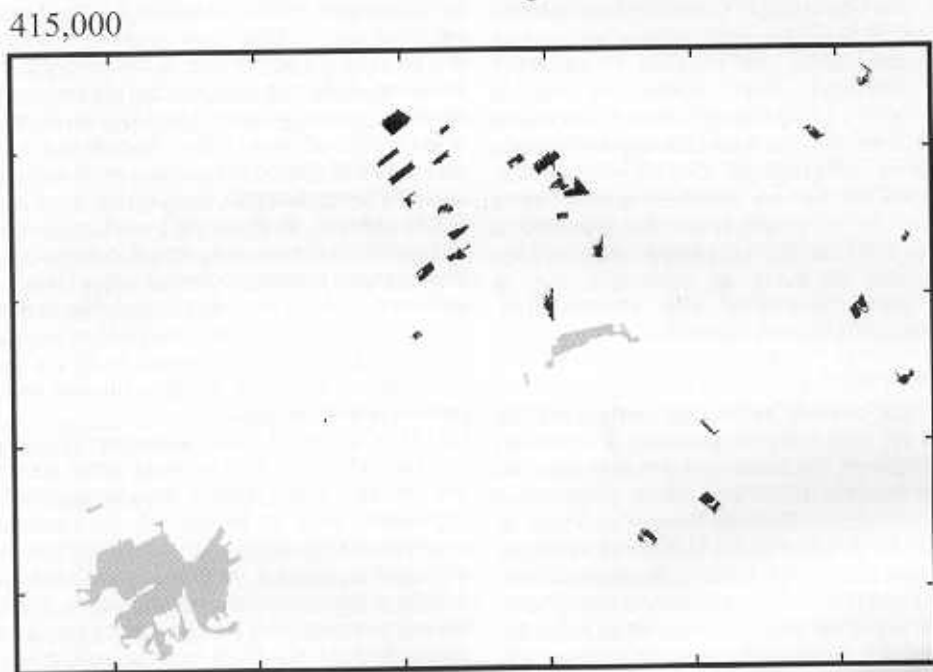


Figura 2. Cambio en Uso del Suelo estimado en las imágenes de NDVI, mediante el Análisis de Componentes Principales.

Evaluación cualitativa del uso de suelo. Los grupos de vegetación y/o uso de suelo digitalizados para 1970 fueron 92. Debido a la gran cantidad de clases se optó por disminuir su número, reagrupándolas de tal forma que pudiera ser manejable y entendible. En principio se consideró conveniente manejar solo 10 clases o menos. Una vez establecido el criterio de los tipos y número de grupos se procedió a la clasificación de las imágenes. Debido a que solo se contó con tres fechas diferentes se optó por hacer el análisis del cambio de uso de suelo entre las fechas

extremas, es decir, entre las imágenes digitalizadas de los mapas de uso de suelo editados por INEGI en 1970 y la imagen clasificada en 1996. Por esta razón no se hizo un análisis de series de tiempo para la información cualitativa.

En la primera fecha se consideraron nueve grupos (Cuadro 2) al igual que en la imagen de 1996. Los grupos comunes para las dos fechas son matorral espinoso, pasto, vegetación de galería, matorral subinerme, agricultura, asociación matorral pasto, mezquital y áreas urbanas.

Cuadro 2 Clases temáticas registradas para las dos fechas evaluadas

Clave	Nombre	1970	1996
001	Matorral espinoso	X	X
003	Pasto	X	X
006	Bosque	X	
024	Vegetación Galería	X	X
025	Matorral subinermic	X	X
080	Agricultura	X	X
095	Matorral – Pasto	X	X
096	Mezquital	X	X
100	Área Urbana	X	X
200	Suelo Desnudo		X

En el Cuadro 3 se muestra la superficie ocupada por cada clase temática para 1970. En este Cuadro se observa que la clase agricultura dominaba el área, seguida por los dos tipos de matorral presentes en el área de estudio y por la clase Mezquital. La clase

pasto supera las 2000 ha de superficie ocupada. Mientras que las clases Asociación Matorral Pasto, Vegetación asociada a los ríos y Bosque ocupaban menores superficies que las clases anteriores.

Cuadro 3 Superficie (ha) para cada Clase temática registrada en 1970

Clave	Nombre	Superficie (ha)
001	Matorral espinoso	6269.43
003	Pasto	2303.21
006	Bosque	237.01
024	Vegetación Galería	871.38
025	Matorral subinermic	17467.11
080	Agricultura	30829.11
095	Matorral – Pasto	3627.35
096	Mezquital	4919.31

En la clasificación de 1996 una parte de la superficie del área de estudio quedó sin clasificar. Esto se debió a que el algoritmo empleado para la clasificación de las imágenes digitales tiene la capacidad de asignar a nuevos grupos de clasificación las áreas que representan dificultad o poca evidencia de pertenencia para ser asignadas dentro de los grupos definidos previamente.

En el Cuadro 4 se consigna la superficie ocupada para cada clase de uso de suelo asignada en 1996. En primer término se observa que la superficie sin clasificar es de 9276.9 ha lo cual representa el 13.8% de la superficie total del área de estudio. Como se vio en los párrafos anteriores el principal problema para clasificar esta superficie fue el grado de alteración en que se encuentra pero sin que aún se pierdan

algunas características importantes de su vegetación original como es el caso de aquella superficie que en 1970 se designó como Mezquital y que en la imagen de 1996 aún existen individuos característicos de esta clase pero que su número se ha visto disminuido considerablemente. Aunque aún la destrucción no es tal como para considerarla en la clase Suelo desnudo.

En lo que respecta a la clase Bosque detectada en 1970 no fue posible estimarla en la imagen de 1996. Por lo que esta clase no se consideró en esta última fecha. Por último, se incluyó la clase Suelo Desnudo el cual por sus características de reflectancia debidas a la escasa vegetación sobre la superficie sobresale en la imagen de 1996.

Cuadro 4. Superficie (ha) para cada Clase temática registrada para la fecha 1996, del área de estudio

Clave	Nombre	Superficie (ha)
001	Matorral espinoso	2411.3
003	Pasto	632.3
024	Vegetación Galería	646.5
025	Matorral subinermes	7694.9
080	Agricultura	38591.3
095	Matorral – Pasto	1560.0
096	Mezquital	1713.6
097	Suelo desnudo	3556.1
200	Sin clasificar	9276.9

Cambio en Uso de Suelo de 1970 a 1996. En el Cuadro 5 se presenta el cambio global para cada clase temática evaluada en 1970. En ese cuadro se excluyeron las clases bosque, suelo desnudo y áreas sin clasificar, la primera debido a la dificultad en estimarla en la fecha de 1996, la segunda porque no se pudo determinar en 1970 y la tercera porque es la misma superficie en 1970 que en 1996.

En ese mismo Cuadro, se puede ver que las clases matorral espinoso, pasto, vegetación de galería, matorral subinermes, la asociación matorral-pasto, y mezquital presentaron disminución en el área ocupada en 1996 respecto a 1970. En estos casos el incremento varió entre -26.6% y 57.8%. Solo las clases agricultura y áreas urbanas presentaron incrementos en la superficie al comparar la superficie ocupada por cada una de ellas en 1996 respecto a 1970.

En el periodo de 1970 a 1996, aproximadamente

3097.5 ha de matorral espinoso fueron destruidas para ser incorporadas a los procesos agrícolas. Mientras que, 212.0 ha algo así como el 3.7% se detectó como suelo desnudo. Es decir, poco más de la mitad de la superficie clasificada como matorral espinoso cambió de uso de suelo.

La clase Pastos tuvo cambios muy marcados para la fecha de 1996. En primer término 626.2 ha se dedicaron a la agricultura, 80.7 se clasificaron como Suelo Desnudo y 4.2 se utilizaron para expandir las áreas urbanas.

Los Bosques detectados en 1970 no fueron detectados en la clasificación de 1996, estimando que 68.3 ha de estos se dedicaron a la agricultura y 17.7 ha se detectaron como suelo desnudo. Mientras que, de la Vegetación asociada a los ríos se deforestaron 234.8 ha de las cuales 226.0 ha se detectaron en 1996 como suelo desnudo y 8.8 ha se dedicaron a la clase áreas urbanas.

Cuadro 5. Porcentaje de cambio para 1996 en cada clase temática respecto a 1970

Clave	Nombre	Superficie (ha)	Incremento %
001	Matorral espinoso	-3309.5	-57.8
003	Pasto	-711.1	-52.9
006	Bosque		n/a
024	Vegetación Galería	-234.8	-26.6
025	Matorral subinermes	-4687.9	-37.6
080	Agricultura	7994.3	26.1
095	Matorral – Pasto	-1152.0	-42.5
096	Mezquital	1695.4	-49.7
097	Suelo desnudo		n/a
100	Áreas urbanas	320.8	45.4
200	Sin clasificar		n/a

n/a No aplica

De la superficie correspondiente al matorral Subinerno, 2,333.4 ha se desmontaron para ser usadas en la agricultura y además fue la clase temática más propensa a disminuir su cubierta vegetal, pues de 1970 a 1996 2160.6 ha se clasificaron como suelo desnudo.

La asociación Matorral Pasto contribuyó con 452.3ha al área agrícola y 684.4 ha sufrieron disturbios en su composición vegetal de tal manera que se clasificaron como suelo desnudo. De esta asociación de vegetación se dedicaron 452.3 ha a la agricultura.

Por último la clase Mezquital también presentó alteraciones en su distribución superficial. El 44.5% de la superficie con mezquite en 1970, pasó a formar parte del proceso de producción agrícola y 177.7 se consideraron como suelo desnudo.

También se observa que una parte del área clasificada como agrícola en 1970 (98.5 ha), se incorporó en 1996 como área urbana.

La clase agricultura presentó un aumento considerable en su superficie de 1970 a 1996. Este aumento se debió a que todos los tipos de

vegetación, excepto la vegetación asociada a los ríos, fueron desplazados por esta clase. Por su parte, el aumento en la superficie de los dos centros más importantes del área de estudio afectó en forma directa a los tipos de vegetación contiguos a General Terán y Montemorelos.

CONCLUSIÓN

Con los datos anteriores se concluye que fue posible evaluar la superficie del crecimiento de la frontera agrícola y urbana, y además, se determinó que esos crecimientos fueron en detrimento de la superficie de las comunidades vegetales naturales.

Dada la información y conclusiones anteriores se plantea de vital importancia y en forma inmediata implementar programas de control de los efectos del cambio de uso de suelo sobre el ecosistema, así como desarrollar y ejecutar proyectos de investigación encaminados a evaluar el impacto de estos cambios en los uso de suelo detectados en este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Chuvieco, E.; (1996) "Fundamento de Teledetección Espacial". Tercera Edición. Ediciones RIALPSA, Madrid, España
- Correa, J. B.; (1996) "Evaluación y Cuantificación de los Cambios del Uso de Suelo mediante Imágenes de Satélite en los Municipios de Linares y Hualahuises, N. L.". Tesis Profesional. 47 p. Facultad de Ciencias Forestales. UANL, México
- De La Torre, J. C.; Guardado, S. y B. J. Sasser; (1983) "Monitoreo del Proceso de Desertificación en México a través del Procesamiento Digital de Datos Landsat" *Ciencia-Forestal* 8(44): 3-23, México
- Department of Defense; (1994) "World Geodetic System" (WGS). Defense Mapping Agency, Department of Defense, USA. MIL-STD-2401.//164.214.2.59/ y //arc_www.belvoir.army.mil/
- Eastman, J. R.; (1997) "Idrisi for Windows. User's Guide". Version 2.0. p.14.1-14.5; Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis, Clark University, Worcester, MA, USA
- Eastman, J. R.; McKendry, J. E. y M. A. Fulk; (1995) "Change and Time Series Analysis". United Nations Institute for Training and Research. Explorations in Geographic Information Systems Technology. Second Edition. v.1,p119

GENERACIÓN DE MODELOS DIGITALES DE TERRENO EN ZONAS CUBIERTAS POR VEGETACIÓN USANDO INTERFEROMETRÍA RADAR

Osvaldo Peinado

AGF (Arbeitsgruppe Fernerkundung, Ludwig Maximilians Universität München)
Luisenstraße 37, Zimmer 514, 80333 München, Alemania
Email: osvaldo.peinado@iaag.geo.uni-muenchen.de
CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales)

RESUMEN

En este trabajo se presenta un método de cómo se puede obtener un modelo digital del terreno (DEM) usando la técnica de interferometría radar. La zona de trabajo elegida se ubica en la Mesopotamia argentina, al centro-oeste de la provincia de Entre Ríos. Es una zona relativamente plana con lo cual se eliminan prácticamente los problemas de layover, shadowing y foreshortening que disminuyen la calidad del producto. Por otro lado el área está totalmente cubierta por vegetación lo cual implica cambios bruscos en la coherencia que influyen en la creación del DEM. En este tipo de casos sólo es posible usar imágenes SLC Tandem. Todos los pasos necesarios para la obtención del DEM partiendo de las imágenes SLC son presentados, así como también una breve explicación de cada uno de ellos. La importancia fundamental de contar con la información sobre las órbitas precisas de los satélites se aclara también. El software elegido es el desarrollado por el DFD (Deutsche Fernerkundungsdaten Zentrum, Centro alemán de procesamiento de datos satelitales) en Oberpfaffenhofen, cerca de Munich, Alemania. Este software funciona en forma prácticamente automática desde la lectura de los pares de imágenes hasta la generación de los interferogramas. Si la información de órbitas precisas está disponible en el D-PAF, ésta es incorporada directamente y usada para la generación de imágenes de coherencia. El proceso de co-registración se hace en forma automática y muy precisa empleando la transformada de Fourier. El programa permite la introducción de puntos de control de tierra para el proceso de fase unwrapping y la generación del DEM. El sistema es distribuido y basado en Unix, no hay información para el usuario y un conocimiento muy avanzado de Unix es necesario para operarlo, en realidad el sistema está pensado para ofrecer el servicio de procesamiento y la generación de DEM's.

ABSTRACT

In this paper a method to obtain a DEM using the radar interferometry is presented. The working area is located in the Argentine Mesopotamia, in the west of the Entre Ríos Province. Because the area is almost flat, the layover, shadowing and foreshortening problems are eliminated, and the quality of the final product is not reduced. The zone is totally covered by vegetation, that implies strong changes in the coherence that affect the creation of the DEM. Due to this problem in those cases only SLC images can be used. Here all the necessary steps beginning from the SLC images to the DEM generation are presented and also briefly explained. The extreme importance of the precise orbit information of the satellite is resumed. The selected software was Gemos, developed by the DFD (Deutsche Fernerkundungsdaten Zentrum, Remote sensing German center) in Oberpfaffenhofen, close to Munich, Germany. This software works almost automatically, from read and import the images to the creation of the interferograms. If the precise orbit information for the selected pair exist in the D-PAF it is automatically incorporated and used for the generation of the coherence images. The co-registration process is very precise and made automatically using the Fourier transformation. The program allows the incorporation of ground control points used for the phase unwrapping process and for the DEM generation. The system is distributed in a network and based in Unix, there is no information for the user and a very advanced knowledge about UNIX is necessary to operate it. Actually the system was designed to offer a service (and not to be sold) for the final user of image processing and high precision DEM production.

INTRODUCCIÓN

En el marco del proyecto ERS-1/2 Agricultural

Monitoring Experiment en Entre Ríos, Argentina. El mismo está dividido en tres áreas: sensores remotos, a cargo de AGF/DLR (Arbeitsgruppe Fernerkundung/ Deutsches Zentrum für Luf-und Raumfahrt) en Alemania, SIG a cargo de CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales) y trabajos de campo y SIG a cargo de la UNER (Universidad Nacional de Entre Ríos) ambos en la Argentina. En este trabajo se usaron imágenes de los Satélites ERS-1 y ERS-2 con tomas de los días 1 y 2 de junio de 1996 (misión tandem). La integración y comparación de datos se realizó con ayuda de datos de campo coordinados con la pasada del satélite. Una parte importante del proyecto es la producción de un modelo digital del terreno, para integrarlo al GIS y para disponer de datos a usar en otras aplicaciones, como el estudio de pendientes y su influencia en la erosión, un serio problema de la zona, y también para analizar la influencia del ángulo de incidencia local y su relación con el coeficiente de retrodispersión del

radar. Otra aplicación es la exacta georreferenciación de las imágenes de radar en el ground range y la correcta identificación de lotes con cultivos con diferentes pendientes [Mehl'97]. El DEM fue obtenido usando el software del DFD y convertido a formato Erdas Imagine para su posterior aprovechamiento.

OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es la obtención de un DEM usando imágenes SLC para tener como base de georreferenciación y corrección de todas las imágenes de radar disponibles en el proyecto arriba mencionado. Para ello se contó con información de campo provista por el grupo de UNER que coincide con las fechas de adquisición de las imágenes y con apoyo del personal del DFD para poder usar el software. Las imágenes usadas son las siguientes:

Acquisition Date	Type	Quadrant	Orbit	Frame
01.07.1996	ERS-1 SLC	II	25520	4257
02.07.1996	ERS-2 SLC	II	05847	4257

Tabla 1: Características de las imágenes tandem del segundo cuadrante de la zona Chilcas.

Area de trabajo

El área de trabajo se halla ubicada en la Mesopotamia argentina, al este del país, en la provincia de Entre Ríos. La figura 1 indica en el recuadro la zona de Chilcas, en el departamento Victoria, a la derecha está ampliada el área específica de estudio, las coordenadas de las imágenes usadas correspondientes con la zona de

trabajo son las siguientes:

ERS-1, fecha: 01.06.96, lat.=-32.317, long.=-60.697
ERS-2, fecha: 02.06.96, lat.=-32.320, long.=-60.696

Ambas con pasada descendente, las coordenadas se ubican sobre el Oeste de la provincia de Entre Ríos, al sur de la ciudad capital, Paraná, y abarca parte del río Paraná (figura 1).

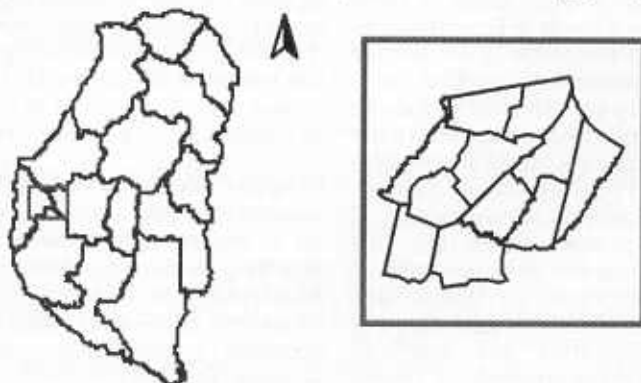


Figura 1: Zona de trabajo en Entre Ríos y ampliación del área de estudio Chilcas, el recuadro mayor indica el área cubierta por las imágenes

METODOLOGÍA

Partiendo de las imágenes complejas SLC se debe realizar todo el proceso interferométrico hasta llegar a la obtención del DEM. El primer paso consiste en obtener las imágenes de módulo para verificar el área escogida y fijar los puntos de control para la corrección geométrica final. El software del DFD consta de dos módulos principales: GENESIS (GENERIC System for Interferometric SAR), éste calcula hasta la fase absoluta (Interferograma desenrollado) y el segundo llamado GEMOS (Geocoding and Mosaicking System) se usa para la geo-corrección y la generación del DEM [Roth'99]. El software funciona bajo un entorno UNIX, en una red de varios servers y es no es transportable a ninguna otra plataforma, la idea es prestar servicios y no vender el software en sí mismo sino un producto terminado, por esa razón no existe ningún manual de uso y nadie sabe en forma completa cómo funciona todo el proceso, el uso de este software conlleva un tiempo de aprendizaje y la colaboración de varias personas del DFD. El programa hace todos los pasos en forma prácticamente automática, desde la lectura de las imágenes SLC hasta la generación del DEM. Cada módulo es un conjunto de programas en C agrupados bajo los dos macro-programas Genesis y Gemos, que se disparan bajo un comando makefile. Cada uno de los programas va escribiendo en un directorio los resultados intermedios y los pasos que va realizando de manera tal que sea posible seguir el funcionamiento del mismo y detectar errores en caso de haberlos.

Como se dijo ya, el primer paso es la generación de las imágenes de amplitud, con una resolución de 25m, resultando casi una escena PRI. Simultáneamente se crean los archivos de parámetros para la generación de los interferogramas y todos los parámetros de órbitas necesarios (elipsoide, datum local y vectores de estado) para la corrección de tierra plana y generación del DEM. Aquí se busca la información de órbitas precisas, esta es una fantástica ventaja de este software, automáticamente busca en los archivos del DFD (D-PAF) si existe la información de órbitas precisas y si está disponible la copia en el directorio de trabajo, mejorando la calidad de la corrección de tierra plana y por ello el DEM. Esto es una ventaja que muy pocos software poseen, el autor mismo probó casi todos los software de interferometría que existen en Europa y USA y sólo tres permiten la incorporación de estos importantes parámetros. El conocimiento de la posición exacta del satélite es fundamental para remover la componente de tierra plana de un interferograma. Una componente prácticamente lineal (que debe corresponder a la fase de relieve cero) debe ser sustraída para que la fase restante sea proporcional a la real variación del relieve. Desplazamientos en la posición

de los satélites (dados por los vectores de estado) producen fringes inexistentes que distorsionan el relieve [ESA'99].

La ESA entrega por default sus imágenes con los header files con las Predicted o Restituted orbits. Esta información se puede usar en lugares desiertos y no siempre funcionan bien, para zonas con montañas o cubiertas de vegetación como es este caso, solamente las órbitas precisas pueden ser usadas, sino los errores en la corrección de tierra plana son tan grandes, que el DEM no puede ser generado o es totalmente irreal. Hay casos en que la información provista por los headers files es suficientemente correcta y se puede calcular el DEM sin necesidad de comprar las Precise orbits. Con la ayuda de esta información de órbitas, el software genera la registración gruesa y la fina, para la segunda los datos son convertidos al dominio de la frecuencia, y registrados a nivel de subpixel. Este paso ahorra mucho tiempo y aumenta la precisión de la co-registración, ya que es mucho más preciso trabajar con frecuencias que con imágenes. Muy pocos software usan este método, que es relativamente sencillo de programar, muy preciso y ahorra un tiempo invaluable en el proceso. En este paso la fase de la corrección de tierra plana es calculada usando la información de órbitas.

El segundo paso es la creación del interferograma y la imagen de coherencia. Para hacer esto las imágenes son resampleadas (multi-looking) cinco veces en la dirección acimut y una en la dirección rango, obteniendo una resolución de 25 m. Luego de esto se hace una nueva registración fina, pero esta vez usando puntos de control de tierra (GCP). Para ello se usaron cartas topográficas provistas por el Instituto Cartográfico de Cataluña. Para este paso se usa el módulo GEMOS. Este tiene un módulo para ingresar por teclado o tabla digital los GCP. Una nueva imagen de amplitud, de coherencia e interferograma son generados. La tolerancia de la posición de los puntos es de 0.003 segundos en acimut (20 m) y 0.00000005 en Range (=20m). Para la altura la precisión es de +/- 10 m. Luego de ingresar los GCP, el software genera una imagen de errores de altura, para controlar si todo está bien hecho antes de seguir con el proceso. Con las dos imágenes de coherencia una nueva imagen es creada como la diferencia de las dos y ésta es la que se usa para seguir con el proceso.

El tercer paso es el desenrollado de fase (phase unwrapping), para este punto se usa el algoritmo de los costos mínimos [Eineder'99], este es un método muy efectivo, que desenrolla primero las zonas fáciles y luego las más difíciles para no hacer arrastre de errores. Con este proceso los fringes (0 2) son sumados o sustraídos para generar la fase absoluta. El último paso es la conversión de ciclos de fase en alturas, la generación del DEM, para ello se

necesitan 3 pasos. Primero la fase desenrollada es convertida en una red irregular de puntos geolocalizados en altura, longitud y latitud usando el modelo WSG84, que es el estándar en Europa (esto debe tenerse en cuenta, porque al final hay que cambiar al elipsoide de referencia, el sistema de coordenadas y el datum local). Segundo se mapea la

red irregular en una red regular y tercero las imágenes en slant range como amplitud y coherencia son convertidas en esta red regular y ajustadas a ground range. De este modo el programa muestra una imagen de color que es la suma de las tres anteriores y el DEM que es generado a partir de esta malla regular.

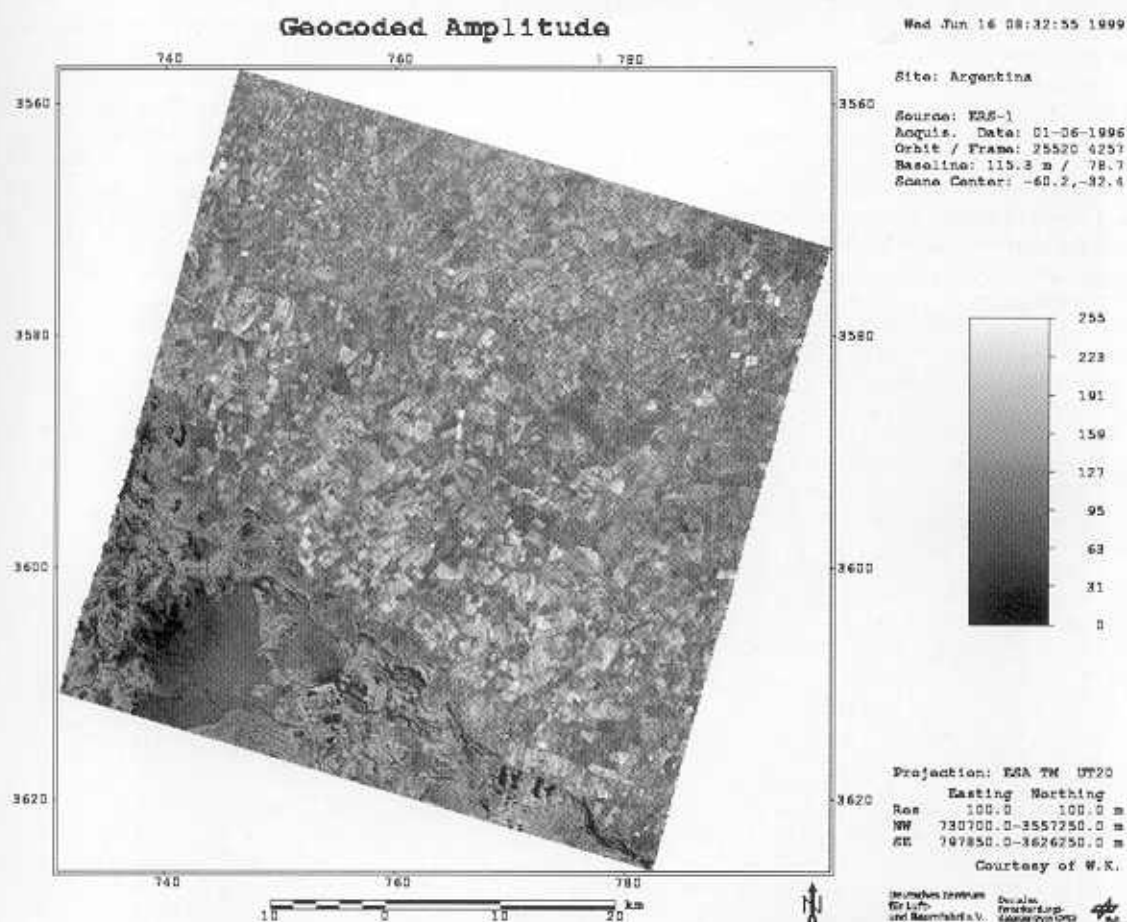


Figura 2: Imagen de amplitud del área Chilcas calculada automáticamente

RESULTADOS

Con el software anteriormente descrito y usando las imágenes de la misión tandem, con una línea de base de 115,3 m. lo que significa una altura de ambigüedad

de 78,7 m. Esto es casi ideal para esta zona, porque si se observa el interferograma, sólo dos fringes están presentes, lo que corresponde con el relieve de la zona en la margen del río en la provincia de Entre Ríos. Luego de que las imágenes han sido leídas en

formato complejo y los archivos de parámetros generados, el software busca y copia la información de las órbitas precisas. A partir de aquí corriendo el módulo Genesis el software funciona en forma automática generando y archivando las imágenes intermedias. Una de ellas es la imagen de módulo que se muestra en la figura 2. Una particularidad de este software es que genera las imágenes directamente en un mapa, incluyendo las coordenadas, cuadros y leyendas, esto puede ser una ventaja o desventaja, ya que el sistema adoptado es el alemán que no es aplicable a todos los países. De todos modos se puede modificar este proceso e indicarle al software que produzca las imágenes sin ningún tipo de agregados, como lo muestra la figura 3 en la imagen de coherencia.

Esta imagen si es comparada con la imagen de amplitud tiene varios puntos interesantes a ser destacados:

- En la imagen de coherencia las líneas de costa son fácilmente identificables.
- Los campos que han sido preparados para la siembra de trigo se distinguen claramente (los campos oscuros en la imagen) la coherencia es cercana a cero por los cambios producidos en la estructura de los campos en la tarde del primero de julio.
- En la imagen de coherencia aparecen muchos campos con formas geométricas regulares, un borde oscuro con el centro más claro. Estos son campos que están siendo preparados para la siembra durante la mañana del 2 de julio, las máquinas empiezan a trabajar desde afuera hacia adentro, siguiendo la forma de los bordes del lote. Estas han comenzado a las 7:00 de la mañana y la toma de la imagen se ha hecho a las 9 h. Los bordes oscuros son los sectores por donde las máquinas ya han pasado cambiando la estructura del suelo y perdiendo por lo tanto la coherencia, por eso aparecen oscuros, en el centro todavía se mantiene la estructura del día anterior, la coherencia es alta y por ese motivo aparece brillante.

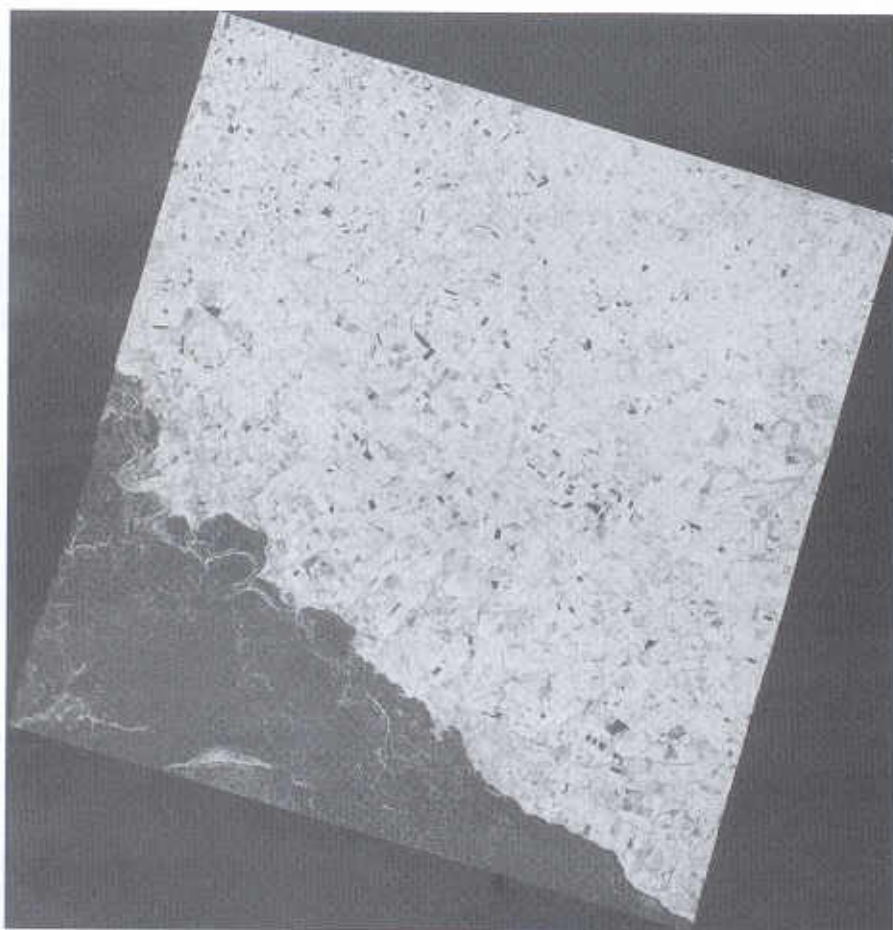


Figura 3: Imagen de coherencia del área Chilcas y el río Paraná.

- Casi todas las rutas son claramente visibles, especialmente en el sur de la imagen de coherencia, esto se debe a que son caminos de tierra y por el tránsito pesado de maquinarias y camiones, el suelo se modifica y pierde la coherencia, por eso aparecen más oscuros que los campos circundantes.
- Por el contrario, los caminos asfaltados aparecen también más oscuros, porque la mañana del 2 de julio hubo un poco de lluvia y esto cambia la reflectividad del suelo para la señal de radar y por ende la coherencia también.
- Las ciudades aparecen más brillantes que los campos de alrededor, especialmente Aranguren y General Ramírez en el noreste de la imagen.



Figura 4: Histograma (fase relativa) de la zona de Chilcas y el río Paraná

- Debido a la lluvia ocurrida, ha habido cambios en el coeficiente de retrodispersión, cada cultivo reacciona de una manera diferente a la humedad y la interacción con las ondas del radar, por este motivo si la imagen es observada detalladamente, prácticamente cada tipo de cultivo es identificable.
- Sobre el río en la imagen de coherencia se

pueden reconocer los bancos de arena que mantienen una coherencia alta y las márgenes reales del río, estas márgenes están cubiertas por vegetación y son difíciles de identificar [Peinado'99], pero al moverse cambia su coherencia y se ven oscuros contrastando con el resto.

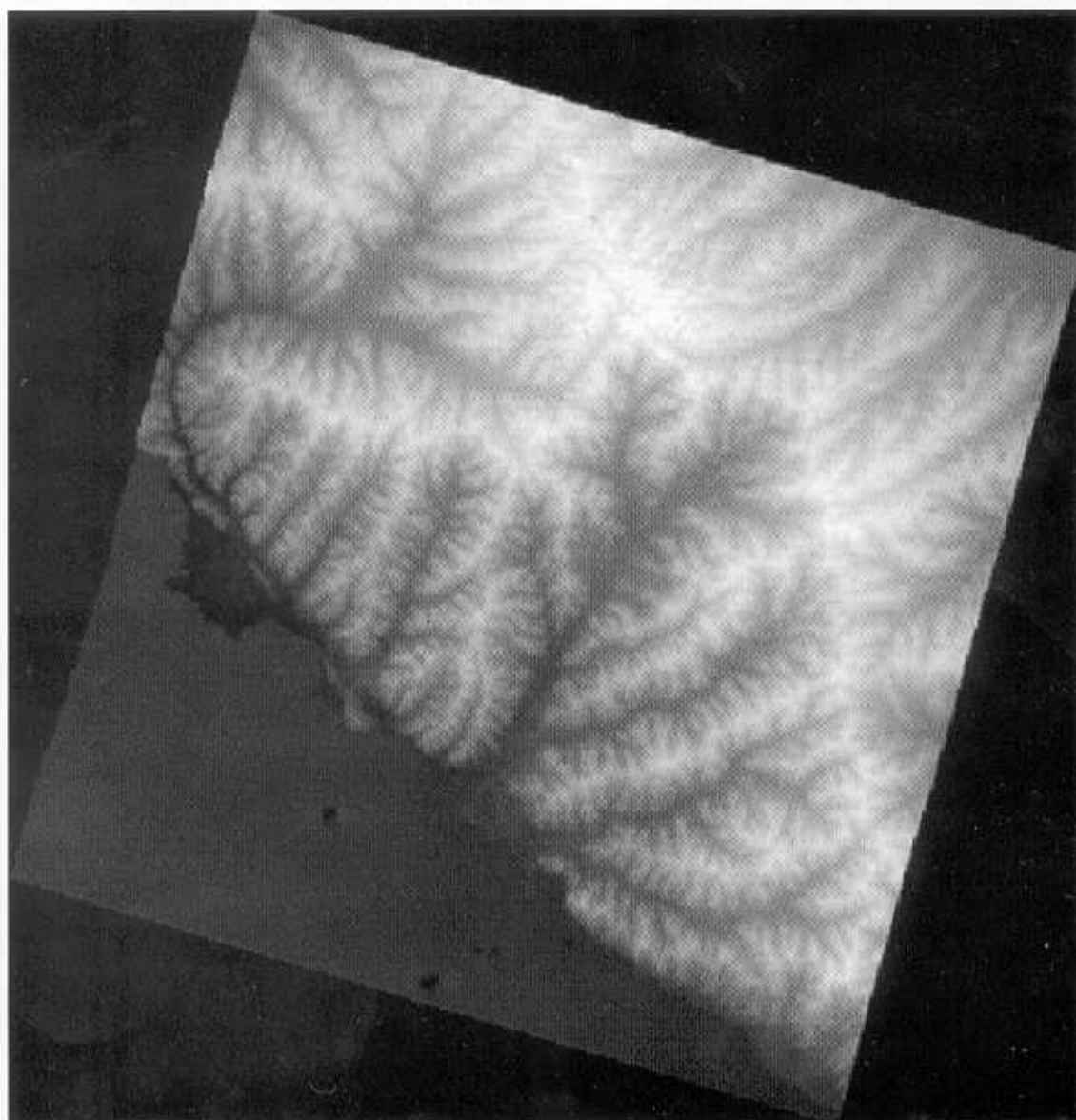


Figura 5: modelo digital del terreno de la zona de Chilcas

La figura 4 muestra el resultado del interferograma, aquí es interesante destacar como los dos fringes indican la pendiente que hay entre la zona de estudio y el margen del río Paraná. Esto coincide totalmente con el relieve real. Cada fringe representa una variación de 78 m. Las pendientes alrededor de los arroyos es visible también, incluso en lugares donde las diferencias de altura son menores a 3 metros, eso da una idea de la excelente calidad del interferograma, y de la coherencia existente en la imagen, lo cual no sería posible de lograr sino se contara con la información de las órbitas precisas.

La imagen de la figura 5 es el producto final, el DEM, que tiene una precisión vertical de 5 m, esto es un gran logro si se tiene en cuenta que es una zona relativamente plana y totalmente cubierta por vegetación, lo cual degrada la coherencia y por ende todo el proceso. Al analizar el DEM se encontró que las áreas de mayor erosión hídrica coinciden con las de mayor pendiente. Sobre el río fue aplicada una máscara y por este motivo aparece todo del mismo color, sino se verían las irregularidades del río, que en este caso sólo representarían una fuente de error. Este DEM puede ser integrado en un GIS para su posterior análisis.

CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta como se puede obtener un modelo digital del terreno de alta precisión usando imágenes SLC y la técnica de interferometría. La zona elegida es relativamente plana y totalmente cubierta por vegetación. Las imágenes usadas son de la misión tandem ERS-1 / 2 y apoyadas con información de tierra. En el texto se explica la

importancia de contar con la correcta información de órbitas y de sus efectos en la generación del DEM. Luego se muestran los pasos y las imágenes intermedias obtenidas en un proceso interferométrico. Como software se usa el desarrollado por el DFD en el DLR, explicando sus ventajas y desventajas. Se muestra la imagen de coherencia explicando la razón de los cambios y efectos que en ella aparecen. Luego el interferograma y una imagen color combinando la fase relativa, la coherencia y el módulo. Esta imagen sirve para la interpretación de los fenómenos de erosión y comportamiento de las señales de radar, así como también para la identificación de la topografía de la zona y el uso del suelo. Finalmente se presenta un modelo digital del terreno con una precisión de 5 metros. Esto demuestra que si se cuenta con las imágenes SLC de la misión tandem y la información de órbitas precisas de los satélites, es posible generar un DEM de la zona de estudio a bajo costo y con alta precisión.

AGRADECIMIENTOS

El autor quiere agradecer la colaboración prestada por parte del grupo de interferometría del DFD en Oberpfaffenhofen, especialmente al Dr. Mehl por haber permitido el uso de los equipos, al Dr. Roth por disponer del tiempo de uso de los mismos y al Dr. Knöpfle por hacer las modificaciones necesarias en los programas, a la Dra. Marschal, por las explicaciones dadas en el uso del software. También al grupo de la UNER dirigidos por el Ing. Brizuela, por facilitar los datos de campo necesarios y al Ing. Sione por su apoyo en el tema GIS.

BIBLIOGRAFÍA

- [Eineder'99] Eineder, M. y J. Holzner; (1999) "Phase Unwrapping of Low Coherence Differential Interferograms". IGARSS 99, v.III, p.1727-1730, Hamburgo, Alemania
- [ESA'99] ESA; (1999) "The Influence of Orbit Precision in the Quality of ERS SAR Interferometric Data" (http://earth1.esrin.esa.it/ORB_QL)
- [Mehl'97] Mehl, H.; Peinado, O.; Aiello, J. y A. Brizuela; (1997) "ERS 1/2 Agricultural Monitoring Experiment in Entre Ríos Argentina". ESA-Space Conference. The Use and Applications of ERS in Latin America. SP-405, p.83-88, Viña del Mar, Chile
- [Peinado'99] Peinado, O.; Mehl, H.; Carrasco, D. y A. Broquetas; (1999) "Application of Interferometry in Cultivated Areas using ERS 1/2 SAR Tandem Data". IGARSS99, v.IV, p.2763-2767, Hamburgo, Alemania
- [Roth'99] Roth, A.; Knöpfle, W.; Rabus, B.; Gebhardt, S. y D. Scales; (1999) "GEMOS a System for the Geocoding and Mosaicking of Interferometric Digital Elevation Models". IGARSS 99, v.II, p.1124-1127, Hamburgo, Alemania

INFORME SOBRE EL PROGRAMA METOP-1 DE LA ESA

Evangelina Oriol Pibernat

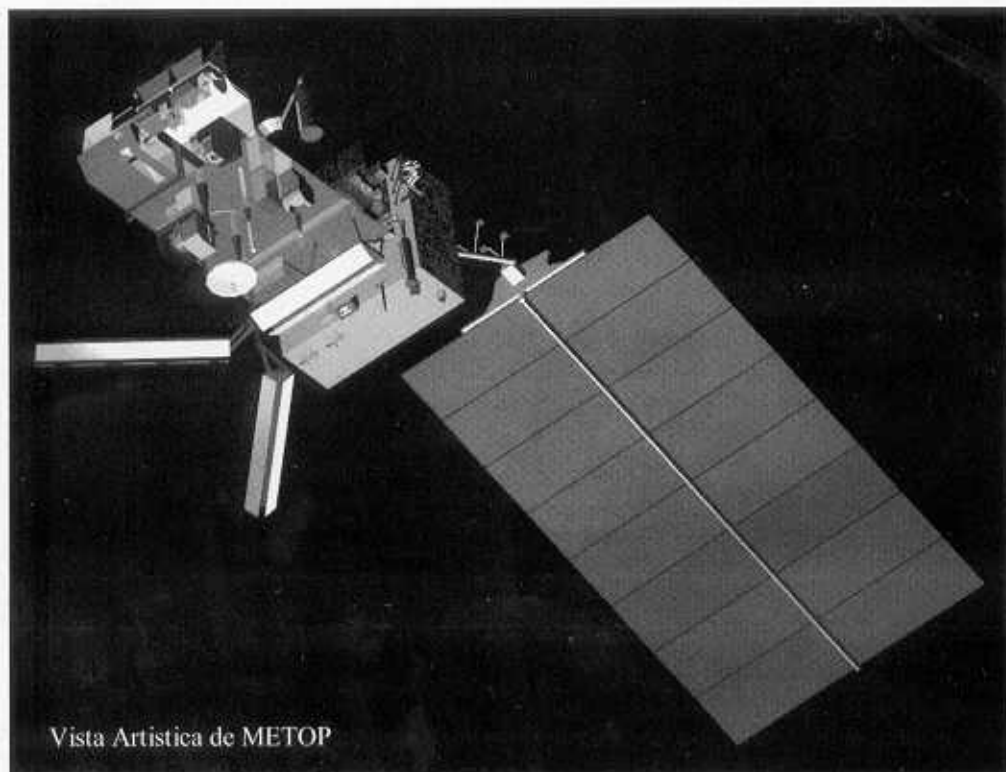
European Space Agency, ESRIN
Via Galileo Galilei, CP 64, Frascati 00044, Italia
Email: coriol@esrin.esa.it

RESUMEN

La Agencia Espacial Europea (European Space Agency, ESA) tiene como uno de sus objetivos la investigación, desarrollo y demostración de tecnología espacial al servicio de la Observación de la Tierra. Los satélites METOP, cuyo primer modelo está programado para el año 2003, será la contribución Europea al sistema mundial de satélites meteorológicos de órbita polar y sustituirán a los Estadounidenses que actualmente vuelan por la mañana. La plataforma METOP llevará a bordo una carga útil suministrada por la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) complementada por instrumentos avanzados Europeos. Los satélites METOP son desarrollados por la ESA en cooperación con Eumetsat (Organización Europea para la operación de satélites meteorológicos) y que tiene la

responsabilidad del sistema EPS (Eumetsat Polar System). Muchos de los instrumentos de METOP, inclusive uno basado en el método de ocultación GPS, GRAS, están destinados a dar información detallada sobre los perfiles de humedad y temperatura de la atmósfera, esenciales para la previsión del tiempo y el seguimiento del clima. Otros datos primordiales se obtendrán a partir del dispersómetro ASCAT y el instrumento para ozono GOME-2, ambos continuación de la serie de satélites ERS de la ESA. El uso de los datos de METOP contribuirá a mejorar aplicaciones de índole meteorológica y a abrir nuevas aplicaciones a este tipo de satélites, sin olvidar avances en la investigación de muchos aspectos de Ciencias de la Tierra.

Palabras clave: meteorología, climatología, teledetección, satélites



Vista Artística de METOP

INTRODUCCION

La Dirección de Aplicaciones de la Agencia Europea del Espacio (ESA), tiene como principal objetivo el contribuir desde el espacio al monitoreo y estudio:

- del medio ambiente (contaminación, clima etc),
- de los recursos terrestres (renovables y no renovables)
- de la Tierra sólida

y a la meteorología operacional. ESA empezó su experiencia con los satélites meteorológicos de órbita geoestacionaria, mediante el lanzamiento del primero (de un total de siete) de la serie Meteosat, en 1977. Analogamente, ESA desarrolló y operó con éxito la serie de satélites de sensoramiento remoto ERS (lanzados en 1991 y 1995). Los programas actuales comprenden los satélites: ERS, Envisat, MSG, METOP, Exploradores y Vigías. Envisat-1, MSG-1 y METOP-1 están en fase de desarrollo.

HISTORIA DEL METOP

Durante la década de los 80, Europa estuvo preparando un ambicioso programa para una plataforma polar. En 1992, se decidió escindir dicha plataforma en dos proyectos: Envisat y METOP. Los objetivos de Envisat serían:

- continuación y mejora de la serie ERS
- contribución a estudios del medio ambiente, en particular química de la atmósfera y biología marina.

Mientras que METOP se ocuparía de:

- meteorología operativa
- climatología operativa y vigilancia del clima.

Más tarde se acordó que el desarrollo de METOP se haría en colaboración con Eumetsat (Organización Europea para la explotación de Satélites Meteorológicos) y que la serie METOP sustituiría a los satélites meteorológicos "matutinos" que la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) pone a disposición de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en la actualidad. Eumetsat es responsable del sistema polar Europeo EPS, lo cual supone el lanzamiento de los tres satélites de la serie, las operaciones durante 14 años, desarrollo de algunos instrumentos, compra de dos satélites y contribución al prototipo desarrollado por ESA (METOP-1).

EL SATELITE

METOP volará en una órbita polar heliosíncrona a 820 Km de altitud, cruzando el Ecuador en su nodo descendente a las 9.30 am de tiempo local. METOP

tendrá un ciclo de 5 días (71 órbitas), siendo su vida media de 5 años, lo cual permite mantener operaciones durante 14 años. La masa de METOP oscila entre 4-5 Tm y podrá lanzarse con las lanzadoras Soyuz o Ariane V. METOP mide 7.3 x 6.1 x 5.2 m, sin contar los paneles solares.

La plataforma de METOP se ha diseñado para que tenga gran precisión en su localización y navegación, gran capacidad de almacenamiento a bordo, sistema de comunicación digital y posibilidad de encriptación.

Los datos globales del METOP se almacenarán sin interrupción a bordo del satélite y serán descargados después de cada órbita en las estaciones de recepción. Los productos globales serán disponibles a partir de Eumetsat al cabo de 2h y 15 min. Se necesitarán entre uno y tres días, según el instrumento, para lograr una cobertura entera de la Tierra. Los datos regionales podrán obtenerse a través de estaciones digitales de recepción HRPT y LRPT para su uso local.

Hay doce países Europeos que contribuyen al desarrollo del prototipo y a algunos de los instrumentos de METOP. El consorcio industrial tiene como líder Matra Marconi Space (Francia). Las actividades industriales empezaron en Febrero 1998 y el prototipo será pronto para almacenaje en 2003. El lanzamiento está previsto en 2005.

LOS INSTRUMENTOS

El principal objetivo de METOP es proporcionar datos para aplicaciones meteorológicas y climáticas. Para ello, METOP embarcará sondeadores y proveedores de imágenes parecidos o idénticos a los que ya vuelan en los NOAA, más otros que constituyen una novedad, aportados por Europa. La mayor parte de los instrumentos estarán por tanto dedicados a dar información detallada de la temperatura y humedad atmosféricas, esenciales para la previsión del tiempo.

La lista de instrumentos a bordo de METOP-1 y METOP-2 es la siguiente:

- Interferómetro Infrarojo de alta resolución IASI
- Sondeador de humedad por microondas MHS
- Sondeador avanzado de temperatura por microondas AMSU-A1, AMSU-A2
- Sondeador de alta resolución en IR HIRS/3
- Radiómetro de alta resolución AVHRR/3
- Sistema de recolección de datos ARGOS DCS-2
- Sistema de búsqueda y rescate S&R
- Seguimiento del entorno espacial SEM

Más los desarrollados por ESA:

- Dispersómetro avanzado ASCAT

El ASCAT es un instrumento activo (radar) en banda C (5.255GHz) que utiliza la geometría de antena de sus predecesores en ERS-1/2. El ASCAT toma coeficientes de retrodifusión desde tres puntos de vista independientes a 45°, 90° y 135°, en dos cintas de 550 km colocadas a 350 km a ambos lados del trazado. Proporciona, entre otros, información sobre la velocidad y dirección del viento en la superficie del océano.

- Experimento para el seguimiento global del ozono GOME-2

GOME-2 está basado en el GOME a bordo del ERS-2. GOME es un espectrómetro barrido que cubre la zona 250-790 nm en cuatro canales. Las moléculas que puede detectar son: O₃, NO₂, BrO, SO₂; más cobertura nubosa y aerosoles.

- Sondeador atmosférico mediante GPS, GRAS

El GRAS proporciona información acerca de los perfiles de humedad y temperatura atmosféricos. Se basa en el cambio de refractividad de señales GPS detectadas desde el satélite a través de la

atmósfera, mediante el método de ocultación.

Los instrumentos de METOP-3 están pendientes de discusión.

CONCLUSIONES

La Agencia Espacial Europea lleva casi un cuarto de siglo construyendo una sólida base para la Observación de la Tierra, y apoyando a la industria del sector. METOP va a cubrir las necesidades de la comunidad meteorológica operacional y al mismo tiempo va a permitir que los científicos continúen las investigaciones empezadas con ERS y complementadas con Envisat.

REFERENCIAS

Se pueden encontrar en el sitio WEB de la ESA:

<http://www.esa.int/>

y también en ESA Bulletin n 102, Mayo 2000.





X Simposio Latinoamericano de Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial

XXI REUNION
PLENARIA DE
SELPER

DEL 11 AL 15 DE
NOVIEMBRE DE 2002
HOTEL PORTALES
COCHABAMBA, BOLIVIA

INFORMES:

+591 2 2315220 / +591 4 4540750

abtema@tgtmulti.com

selper@clas.umss.edu.bo

<http://www.umss.edu.bo/academia/centros/clas/selper>

ORGANIZA:

Sociedad Latinoamericana de
Percepción Remota y Sistemas
de Información Espacial
SELPER - Capítulo Bolivia



COORDINADORES:



AUSPICIA:





ESA promueve el desarrollo y la cooperación internacional



ESA - ESRIN

Via Galileo Galilei,
Casella Postale 64,
00044 Frascati (Roma)
ITALIA

Tel: (39.06) 94180.1

Fax: (39.06) 94180.280

Att: Sr. Maurizio Fea (América Latina)

ESA - Asuntos Internacionales

8-10 rue Mario Nikis,
75738 PARIS Cedex 15, FRANCIA

Tel: (33.1) 5369.7443, Fax: (33.1) 5369.7627

Att: Sra. Valerie Hood (América Latina)



REVISTA - JOURNAL SELPER

VOL. 16, Nº 1-2, 2000

ECUADOR
1980 - 1983

CHILE
1983 - 1986

BRASIL
1986 - 1989

ARGENTINA
1989 - 1991

PERU
1991 - 1993

COLOMBIA
1993 - 1995

MEXICO
1995 - 1997

VENEZUELA
1997 - 1999

ARGENTINA
2000 - 2002