



VOL. 20, N° 1

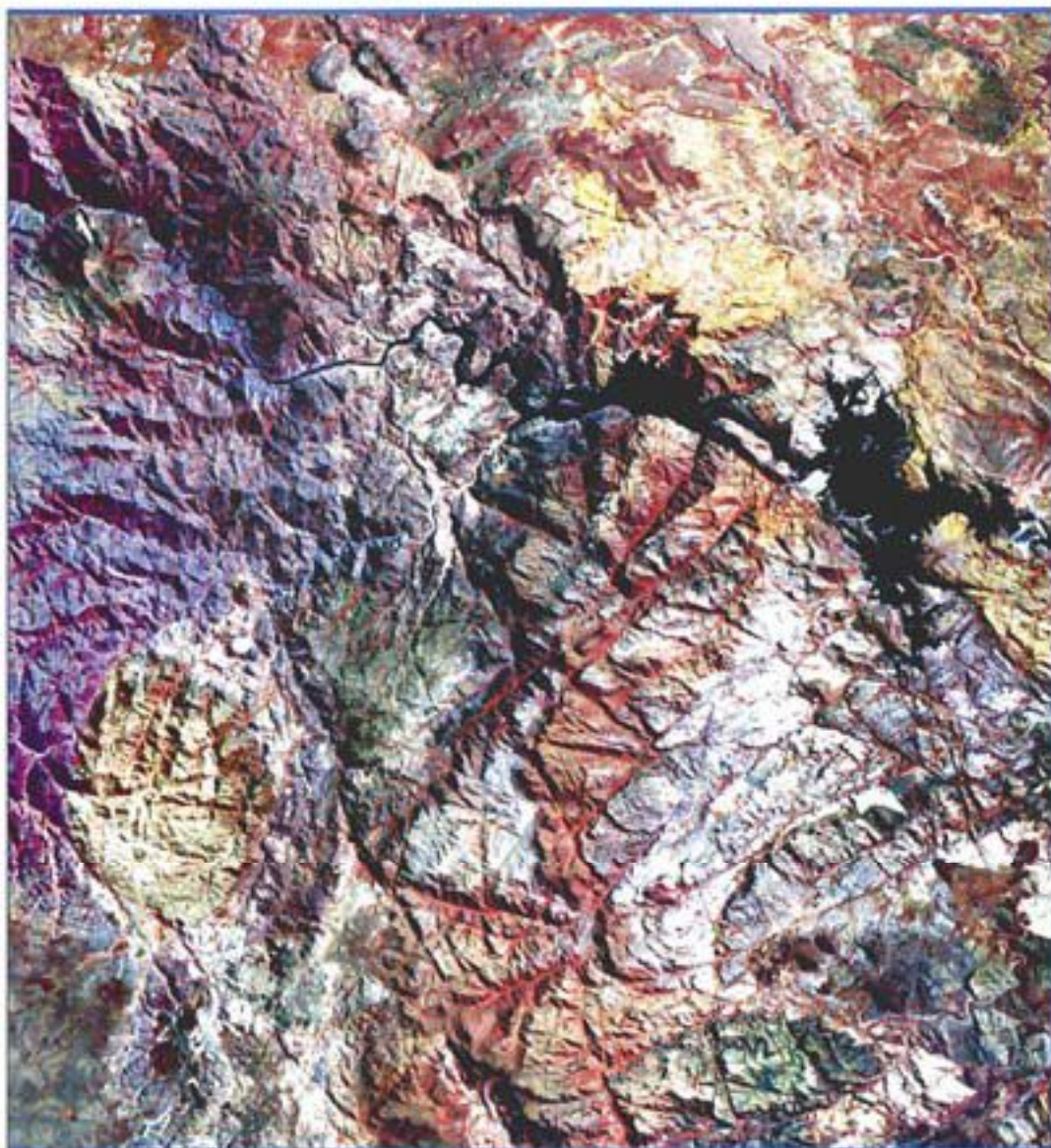
JUNIO 2004

ISSN 0717-2915

**Revista
Journal**

SELPER

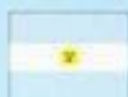
SOCIEDAD LATINOAMERICANA DE PERCEPCIÓN REMOTA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN ESPACIAL
SOCIEDADE LATINO-AMERICANA EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO ESPACIAL
LATINAMERICAN SOCIETY FOR REMOTE SENSING AND SPACE INFORMATION SYSTEMS



Subescena ASTER del macizo de
San Rafael, Mendoza, Argentina.



CAPITULOS CONSTITUIDOS DE SELPER



CAPITULOS EN
FORMACION



CAPITULOS
ESPECIALES



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

AGRADECIMIENTOS - AKNOWLEDGEMENTS



ESA - ESRIN

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

ITALIA

Tel: (39.06) 94180.940

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) 5369.7731, Fax: (33.1) 5369.7627

Att: Sra. Marie Elisabeth De Vel (América Latina)





FOTO PORTADA

Macizo de San Rafael

Subescena ASTER RGB:321 de 15 m de resolución espacial. Se observa un sector del Macizo de San Rafael ubicado a unos 40 km al oeste de la ciudad de San Rafael, Provincia de Mendoza, caracterizado por depósitos del Proterozoico Superior y Paleozoico. Al suroeste se encuentra la estructura concéntrica del pórfiro de cobre y molibdeno conocido como El Infiernillo. Al norte se puede apreciar el dique Los Rayunos ($34^{\circ} 36' 8.18''$ Latitud Sur y $68^{\circ} 38' 31.27''$ Longitud Oeste) que embalsa las aguas del Río Diamante.



DIRECTORIO SELPER, SEDE BOLIVIA, 2002 - 2004
Asociación Boliviana de Teleeducación y Medio Ambiente
Reyes Ortiz No 41 - Piso 13, Casilla 14248, La Paz, Bolivia
Tel.: 591-2-521-259 / 521-113. Fax: 591-2-315220
E-mail: jizec@hotmail.com

PRESIDENTE
José Luis Lirio
Bolivia

VICE-PRESIDENTE
Carlos Valenzuela
Bolivia

VICE-PRESIDENTE
María Cristina Serafini
Argentina

VICE-PRESIDENTE
Carlos Panillo
Chile

SECRETARIO GENERAL
Rodolfo Ayala
Bolivia

RESPONSABLE DE DIVULGACIÓN ELECTRÓNICA
Walter F. Sione
Argentina

TESORERO
Jenny Romero
Bolivia

COMITÉ DE RELACIONES INTERNACIONALES
Presidente
Paulo Roberto Martini (Brasil)
Miguel Sánchez Peña (Argentina)
Carlos Padilla (Chile)
Alfredo Cuello (Argentina)
Ramón Salcedo (Venezuela)
Sophie Mareau (Bolivia)
Lisette Correa (Bolivia)
Pabola Padilla (Bolivia)

COMITÉ EDITORIAL
María Cristina Serafini (Argentina)
Presidente
Myriam Archa Tumes (Colombia)
Francisca C. González (Argentina)
Leila María Fonseca (Brasil)
Mareño Campi (Argentina)
Miriam Esther Ames (Argentina)
Tatiana Zazo (Bolivia)

COMITÉ DOCENCIA E INVESTIGACIÓN
Tania María Sauer (Brasil)
Presidente
Valentino Scatni (México)
Ricardo Álvarez Portal (Chile)
Ricardo Cabezas (Chile)
Graciela Martín (Argentina)
Antonio I. Michel (Bolivia)
Rodolfo Miranda (Bolivia)

CAPÍTULOS CONSTITUIDOS

ARGENTINA
Trinidad Oña González
Carmelinda Nuñez del Val
Superintendente de Enseñanza
Av. Juan B. Justo 2000
Buenos Aires, Argentina
Tel: 54-11-4975-502 - 4975-4250
Fax: 54-11-4975-1127
E-mail: jggonzalez@comcast.com.ar

BOLIVIA
José Luis Lirio
SELPER
Reyes Ortiz No 41 - Piso 13, Casilla 14248
La Paz, Bolivia
Tel.: 591-2-521-259 / 521-113
Fax: 591-2-315220
E-mail: jizec@hotmail.com

BRASIL
Leila María García Fonseca
SELP
Av. Dos Américas 1758, São José dos Campos
São Paulo, Brasil
Tel: 55-12-35455000
E-mail: leila@semp.br

CHILE
Carlos Panillo
SELP
Av. 11 de septiembre 2152 - A 12, 900
8904411 Santiago, Chile
Teléfono: 562-551940
E-mail: Carlos.Panillo@corpnet.cl

COLOMBIA
Myriam Archa
SELP
Calle 14 A - 11 A-34
Santa Fe de Bogotá, Colombia
Tel: 57-1-4553732
Fax: 57-1-4557190
E-mail: maarcha@terra.com

CHILE
Eduardo García
SELP
Calle 4 No. 204, 2° Piso, Cas. A
Minao, Puyo, La Higuera, Chile CP 11-100
E-mail: garciaed@prochile.cl

COLOMBIA
José R. Aguirre V.
SELP
SELP - Instituto Colombiano de Televisión y Radio
Calle 14 No. 204, 2° Piso, Cas. A
Minao, Puyo, La Higuera, Chile CP 11-100
E-mail: garciaed@prochile.cl

GUATEMALA
Celia A. Jasso Rivera
Instituto Nacional
Calle 14, No. 204, 2° Piso, Cas. A
Minao, Puyo, La Higuera, Chile CP 11-100
Tel: 502-231-0094/075
Fax: 502-301-8000
E-mail: celiajasso@hotmail.com

MÉXICO
Valentino Scatni
Universidad Autónoma de Baja California
C. P. 22000, Tijuana, Baja California
México
Tel: 52-662-398-4264 - 398-4264
E-mail: scatni@unbca.mx

URUGUAY
Francisco Chelini
Servicio de Servicios Educativos
C.A.U. República del Uruguay
Calle 181, s/n, Montevideo
Uruguay
Tel: 598-2-331-4263
Fax: 598-2-331-4260
E-mail: francisco@seu.edu.uy

VENEZUELA
Gustavo Ruiz
SELP
Calle 14 No. 204, 2° Piso, Cas. A
Minao, Puyo, La Higuera, Chile CP 11-100
Tel: 598-2-331-4263
E-mail: gusruiz@seu.edu.uy

CAPÍTULOS EN FORMACIÓN

PARAGUAY
Sergio H. Rojas Sosa
SELP
C. Oña, Salsado, 431
Cru. Loma, Paraguay
Tel: 591-21-42639
E-mail: sergio@seu.edu.uy

PERU
Ricardo Calvo
SELP
C. Oña, Salsado, 431
Cru. Loma, Paraguay
Tel: 591-21-42639
E-mail: ricardo@seu.edu.uy

CAPÍTULOS ESPECIALES

ARMENIA
Carmelinda Nuñez del Val
SELP
Calle 14 No. 204, 2° Piso, Cas. A
Minao, Puyo, La Higuera, Chile CP 11-100
Tel: 591-2-521-259 / 521-113
Fax: 591-2-315220

CANADA
Tania María Sauer
SELP
C. Oña, Salsado, 431
Cru. Loma, Paraguay
Tel: 591-2-521-259 / 521-113
Fax: 591-2-315220

ESPAÑA
Eduardo García
SELP
Calle 14 No. 204, 2° Piso, Cas. A
Minao, Puyo, La Higuera, Chile CP 11-100
Tel: 591-2-521-259 / 521-113
Fax: 591-2-315220

FRANCIA
Eduardo García
SELP
Calle 14 No. 204, 2° Piso, Cas. A
Minao, Puyo, La Higuera, Chile CP 11-100
Tel: 591-2-521-259 / 521-113
Fax: 591-2-315220

GUATEMALA
Celia A. Jasso Rivera
SELP
Calle 14 No. 204, 2° Piso, Cas. A
Minao, Puyo, La Higuera, Chile CP 11-100
Tel: 502-231-0094/075
Fax: 502-301-8000

ITALIA
Myriam Archa
SELP
Calle 14 No. 204, 2° Piso, Cas. A
Minao, Puyo, La Higuera, Chile CP 11-100
Tel: 57-1-4553732
Fax: 57-1-4557190

USA
Ricardo Calvo
SELP
Calle 14 No. 204, 2° Piso, Cas. A
Minao, Puyo, La Higuera, Chile CP 11-100
Tel: 591-2-521-259 / 521-113
Fax: 591-2-315220



COMITÉ EDITORIAL

María Cristina Serafini (Argentina)
PRODITEL
Universidad Nacional de Luján
Cruce rutas 5 y ex 7
(6700) Luján, Buenos Aires, Argentina
Tel: 54-2323-423171 int 240
Fax: 54-2323-425786
E-mail: proditel@ma.lunlu.edu.ar

Myriam Ardila Torres (Colombia)
PROSIS S.A.
Calle 94 A n° 11 A-70
Santa Fe de Bogotá, Colombia
Tel: 57-1-6357272
Fax: 57-1-6357180
E-mail: mardila@prosis.com

Francisco Celso González (Argentina)
Universidad Nacional del Sur
Departamento de Geología
San Juan 670 (8000)
Bahía Blanca, Argentina
Tel: 54-291-459 5102 - int. 4300
Fax: 54-291-459 5127
E-mail: fgonza@ctba.edu.ar

Lella Maria Fonseca (Brasil)
INPE
Av. Dos Astronautas 1758, São José
dos Campos, São Paulo, Brasil
Tel: 55-12-39499000
E-mail: lella@dpi.inpe.br

Marcelo Campi (Argentina)
SVD SA
Montevideo 451 2° 24
Capital Federal - Argentina
Tel: 54-11-4371-8441 / 9347
E-mail: mcampi@svdss.com.ar

Miriam Esther Antez (Argentina)
PRODITEL
Universidad Nacional de Luján
Cruce rutas 5 y ex 7
(6700) Luján, Buenos Aires, Argentina
Tel: 54-2323-423171 int 248
Fax: 54-2323-425795
E-mail: proditel@ma.lunlu.edu.ar

Tatiana Zehi (Bolivia)
ABTEMA
Reyes Ortiz No 41 - Piso 13 Casilla 14248
La Paz, Bolivia
Tel: 591-2-821 258113
Fax: 591-2-315226
E-mail: zehi@ciiss.unpas.edu.bo

COMITÉ DE EVALUADORES

Paulo Roberto Martini
(INPE - Brasil)
Hermann Johann Heinrich Kux
(INPE - Brasil)
Lella Fonseca
(INPE - Brasil)
Hector del Valle
(CENPAT - Argentina)
Alfredo Gomez Garzon
(INTA - México)
Djamel Toudert
(Univ. Aut. Baja California - México)
Valentino Sorani
(CAEM - México)

ÍNDICE TEMÁTICO

● COMPARATIVO DE FUSIÓN DE DATOS PARA LA ELABORACIÓN DE CARTOGRAFÍA PREDIAL URBANA

Judith Ley García 5

ESTIMACIÓN DE LA DIFERENCIA ENTRE DATOS DE TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR DE IMÁGENES AVHRR Y MEDICIONES IN SITU, EN LA BAHÍA DE CAMPECHE

Airma Rosa Padilla-Picó

Valentino Sorani

Jorge Garrido 11

CUANTIFICACIÓN DE VARIACIONES TEMPORALES DE COBERTURAS HÍDRICAS CON DATOS SATELITALES Y SU APLICACIÓN EN LA CALIBRACIÓN DE UN MODELO HIDROLÓGICO

Alvaro Soldano

Gabriel Barria

Nathalie Horlent

Dora Goniadski

Jorge Collins 21

● EVALUACIÓN DE LA PRECISIÓN EN LA ORTORECTIFICACIÓN DE IMÁGENES DEL SATELITE IKONOS EN EL ÁREA URBANA DE CARACAS.

Vicior Guevara

Aimara Reyes

Ramiro Salcedo

Alejandro Ruiz

William Torres 32

Editado por: SELPER Internacional

Universidad Nacional de Luján

Rutas 5 y ex 7, (6700) Luján - Bs. As. - ARGENTINA

Impreso por ESA-ESRIN - Frascati, Italia

**PLAN EDITORIAL SELPER 2002 - 2004****PLAN EDITORIAL SELPER**

A partir de las decisiones adoptadas en el marco del X Simposio Latinoamericano de Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial, organizado por nuestra Sociedad; llevado a cabo en Cochabamba, Bolivia, en noviembre de 2002, el Comité Editorial ha tomado el compromiso de regularizar las publicaciones de la Revista Técnica Científica.

En este sentido es necesario destacar el invalorable apoyo obtenido de la Agencia Espacial Europea (ESA), quien ha tomado bajo su responsabilidad la impresión de los volúmenes 16, 17, 18 y 19 correspondientes a los años 2000, 2001 y 2002 respectivamente, los cuales se encuentran disponibles para los miembros de nuestra Sociedad.

En esta oportunidad hacemos llegar la publicación del volumen 20 número 1, donde se incluyen trabajos que han sido enviados por especialistas en el área de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica que desarrollan sus actividades en diferentes instituciones de América Latina, los cuales han sido remitidos a expertos evaluadores para su revisión y aprobación. Nos toca agradecer muy especialmente la labor de estos expertos que posibilitan un mejoramiento en la calidad de los artículos que en ella se presentan.

Nos toca agradecer muy especialmente la labor llevada a cabo por el grupo de evaluadores que ha participado en la revisión de los mismos.

NORMAS PARA LOS AUTORES

Los artículos recibidos serán enviados a tres (3) expertos en la temática para su revisión. Los trabajos aprobados serán publicados en estricto orden, de acuerdo a las fechas de llegada de las contribuciones.

Los idiomas oficiales SELPER son: Español, Portugués e Inglés.

Los trabajos deberán estructurarse contemplando las siguientes secciones:

- a) Título del trabajo. Nombre de los autores y direcciones completas
- b) Resumen (no más de 150 palabras) indicando al final las palabras claves. Deberá incluirse en Español o Portugués, además de Inglés
- c) Introducción
- d) Objetivos
- e) Metodología empleada y materiales

f) Resultados obtenidos

g) Conclusiones

h) Bibliografía: sólo se incluirá la citada en el texto. Se indicarán los autores, por orden alfabético, año, título, revista o medio donde fue publicado, incluyendo volumen y páginas, cuando corresponda.

Los títulos y subtítulos de cada sección deberán estar claramente indicados (ya sea con numeración o tamaño de letras). Las tablas, fotos y figuras deberán ser suficientemente nítidas, llevar un título y estar numeradas en forma consecutiva.

Se deberá enviar una copia del trabajo en formato Word y una copia papel. La extensión total del trabajo no deberá superar las 12 páginas, (DIN-A4).

Los trabajos se enviarán a: editorial@selper.org

Comparativo de fusión de datos para la elaboración de cartografía predial urbana

Judith Ley García

Laboratorio de Geomática, Instituto de Investigaciones Sociales, Universidad Autónoma de Baja California. Edificio de Investigación y Posgrado. Blvd. Benito Juárez s/n. C.P. 21280. Mexicali. B.C., México. Tel:(686)-566-29-85 Ext: 130. Fax Ext : 135. E-mail: jley@uabc.mx

RESUMEN

Las técnicas de fusión de datos, brindan la posibilidad de integrar imágenes con diferentes características espaciales y espectrales, para obtener imágenes secundarias de mejor calidad visual que las originales. El presente trabajo se centra en explorar tres técnicas básicas de fusión de datos (multiplicativa, sustitución del componente principal, sustitución del canal de luminosidad) para integrar las imágenes pancromática y multispectral del sensor Quickbird; y comparar el potencial de las imágenes resultantes para su utilización en la elaboración de cartografía urbana a escala predio de la ciudad de Mexicali, Baja California, México.

Palabras clave: Fusión de Datos, QUICKBIRD, Percepción Remota, Cartografía Urbana, Monitoreo Urbano, Nitidez, Resolución Espacial.

SUMMARY

The data fusion techniques, give the possibility of integrating images with different space and spectral characteristics, to obtain secondary images of better visual quality than the original ones. The present work is centered in exploring three techniques basic of data fusion (multiplicative, substitution of the principal component, substitution of the luminosity channel) to integrate the images pancromatic and multispectral of the Quickbird sensor; and to compare the potential of the resulting images for its use in the elaboration of urban cartography of the city of Mexicali, Baja California, Mexico.

"Keywords: Data Fusion, QUICKBIRD, Remote Sensing, Urban Cartography, Urban Monitoring, Sharpness, Spatial Resolution"

1. ANTECEDENTES

Ante la necesidad de contar con un sistema de información municipal que sustentara el cobro justo y oportuno del impuesto predial en la ciudad de Mexicali, surge el proyecto "Actualización del Registro Inmobiliario Municipal" en el marco del

convenio de colaboración entre el XVI Ayuntamiento y la Universidad Autónoma de Baja California (UABC). En este convenio, la UABC adquirió la responsabilidad de diseñar e implementar un sistema basado en el predio como unidad espacial de análisis básico.

El predio es un límite espacial dinámico, es decir, en el tiempo, cambia de forma y dimensión, sea por fusión o subdivisión, o bien, cambia de contenido, sea por demolición, ampliación o nueva construcción. La velocidad de estos cambios, en el caso de Mexicali, rebasaron la capacidad de la oficina de Catastro de mantener actualizada la cartografía.

El predio es también un límite subjetivo que demarca una propiedad, y que en muchos casos, como sucede en los asentamientos irregulares o suburbanos, aún cuando el predio existe físicamente, este no se encuentra documentado oficialmente, o existe discrepancia con lo registrado. Esto resulta un sobre o sub registro de propiedades y por lo tanto en la asignación y cobro injusto del impuesto predial.

Por lo anterior, en materia de cartografía se persiguieron tres principales metas: la integración del total de predios urbanos de Mexicali (aproximadamente 200,000) con precisión y rapidez; la identificación de predios con incongruencia entre registro oficial documental registro espacial real, y finalmente, el diseño de un instrumento que permitiera a Catastro llevar a cabo un proceso de actualización permanente de la cartografía predial integrada por la Universidad.

2. INTRODUCCIÓN

En la elaboración y actualización de cartografía urbana, la imagen de satélite es un instrumento de gran utilidad, ello debido a las ventajas que ofrece su utilización con respecto a otras fuentes de información espacial. Algunas ventajas son las siguientes: la imagen satelital proporciona una visión completa y homogénea de la ciudad; al ser adquirida en secciones de tiempo relativamente cortos proporciona información relevante para el monitoreo urbano; el manejo informático de los

datos abre la posibilidad de realizar operaciones matemáticas y estadísticas complejas.

Para obtener precisión y calidad en la elaboración de cartografía predial urbana es necesario utilizar como referencia una imagen con la mayor definición posible, es decir, una imagen donde los límites de los elementos urbanos son detectados con facilidad. Existen diversos tratamientos y técnicas que proporcionan mejoras en la información satelital para facilitar su interpretación.

Las técnicas de fusión, pretenden integrar grupos de datos con diferentes características espaciales y espectrales para obtener productos de mejor calidad que los originales. (Vergara, 1997). De esta manera, al involucrar diversas fuentes de datos, es posible llevar a la información original más allá de sus propias limitantes temporales, espaciales y espectrales.

Existen diversas técnicas de fusión de datos: pero de manera general podemos clasificarlas de acuerdo a la complejidad del procedimiento que utiliza en básicas y complejas. Las técnicas básicas, se basan en procedimientos simples como las sustitutivas (componente principal y canal de intensidad) y las aritméticas como la multiplicativa. Las técnicas complejas, se sustentan en combinaciones aritméticas como Broovey Transform, PBIM y SFIM (Liu, 2000), o como las basadas en la teoría de Dempster-Shafer (Le Hégarat-Masclé et al 2003) y el modelo de Markov (Ersboll et al, 1998), algunas son originadas a partir de múltiples descomposiciones y reiteraciones como la Wavelet (Zhou et al, 1998), entre otras mas.

De acuerdo a la revisión realizada por Zhang (2002) es común que la imagen obtenida por la aplicación de las técnicas presente problemas de distorsiones del color y debilidad en los tonos, entre otros, asociados principalmente a la amplitud del rango espectral de la imagen pancromática, a la fusión de imágenes con resoluciones extremadamente diferentes y de fechas distintas. Cabe preguntarse ¿la simple aplicación de las técnicas no garantiza la obtención de una imagen adecuada?, o bien ¿imágenes de un mismo sensor con proximidad de resolución y similar fecha de adquisición producen una imagen adecuada independientemente de la técnica aplicada?

Con la intención de responder a los anteriores cuestionamientos y para seleccionar la técnica mas

conveniente para la elaboración de la cartografía predial de Mexicali, el objetivo del presente trabajo es aplicar y comparar tres técnicas de fusión de datos básicas (multiplicativa, sustitución del componente principal, sustitución del canal de luminosidad) en una porción significativa de la imagen satelital de la ciudad de Mexicali.

Para lograr lo anterior, se fusionan dos imágenes adquiridas por un solo sensor, el QuickBird, en la misma fecha (Tabla 1) y de resolución próxima: a) imagen multispectral integrada por las bandas azul-verde-roja (BGR) resolución espacial de 2.40 m, y b) imagen pancromática con resolución de 0.60 m. Del proceso de fusión, se obtienen imágenes nuevas, las cuales se examinan, y se califica la calidad visual que presentan, es decir, la claridad en el despliegue de los elementos urbanos en distintos usos de suelo, en diversos niveles de acercamiento.

El software utilizado en el procesamiento de imágenes es Idrisi32, desarrollado por el laboratorio de la Universidad de Clark, en Estados Unidos de Norteamérica.

3. METODOLOGÍA

Para cumplir con el objetivo del presente trabajo, se realizaron las siguientes tareas: el procesamiento preliminar de las imágenes originales, la aplicación de las técnicas de fusión de datos y finalmente, la calificación y comparación de las imágenes resultantes.

3.1. Procesamiento preliminar

Inicialmente se realizó la homogeneización de las imágenes en cuanto a su referencia geográfica, es decir, se registran en la proyección WGS84, zona 11 norte. Aunque la ciudad de Mexicali es topográficamente plana, se corrigió la imagen tomando como referencia las redes de puntos geodésicos municipal y estatal existentes.

De la cobertura total de la imagen, se extrajo el área de experimentación de aproximadamente 1471 has, la cual se caracteriza por contener los usos de suelo de interés. Esta porción se encuentra delimitada por las siguientes coordenadas:

Superior izquierda: 641051.40, 3616369.80; Inferior derecha: 644889.60, 3612537.60

La Tabla 2 muestra los nombres asignados a los archivos.

Tabla 1. Características de las imágenes originales

Imagen	Resolución espacial	B (nm)	G (nm)	R (nm)	Sensor	Fecha de adquisición
Multiespectral (1,2,3)	2.40 m	450-520	520-600	630-690	Quickbird, Digital Globe	20 de marzo del 2003
Pancromática	0.60 m	450-900			Quickbird, Digital Globe	20 de marzo del 2003

Tabla 2. Archivos de imágenes originales		
IMAGEN	ARCHIVOS	CONTENIDO
Pancromática	P	Banda 1
Multiespectral	MS1	Banda 1
	MS2	Banda 2
	MS3	Banda 3

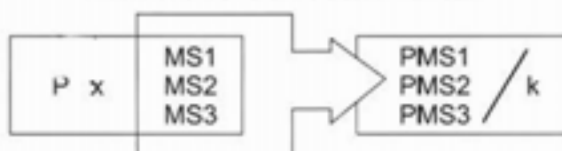
3.2. Aplicación de las técnicas de fusión de datos

Se obtuvieron imágenes secundarias como producto de la aplicación de las técnicas de fusión de datos que a continuación se describen.

a. Técnica multiplicativa

Consiste en la sobreposición multiplicativa de las imágenes originales (Esquema 1). Esto significa que cada número digital (ND) que compone la imagen pancromática es multiplicado por el correspondiente ND de cada banda de la imagen multiespectral.

Esquema 1. Técnica multiplicativa



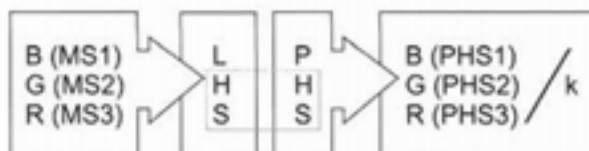
De esta manera, se obtienen tres imágenes secundarias (PMS1, PMS2 y PMS3) cuyos valores espectrales se encuentran magnificados, de tal forma que el intervalo de valores originales de 0 a 255 se amplificó de 0 a 65025. Las medias aritméticas de los ND, se incrementaron como se muestra en la Tabla 3.

Para regresar la imagen a valores aproximados a los originales, se lleva a cabo un ajuste de valores espectrales, que consiste en dividir los datos entre una constante.

b. Técnica de sustitución del canal de luminosidad (intensidad)

Esta técnica consiste en transformar las bandas originales del espacio de color BGR (azul-verde-rojo), al espacio de color constituido por los canales LHS (luminosidad-matiz-saturación). Posteriormente se sustituye el canal de luminosidad (L) por la imagen pancromática previamente ajustada; y se ejecuta el proceso inverso, es decir, se transforma el espacio LHS a BGR. (Vergara et al, 1997).

Esquema 2. Técnica de sustitución del canal de luminosidad



Este proceso genera nuevas bandas (Esquema 2) cuyos valores resultan mayores a los originales. Las medias de las imágenes secundarias son los siguientes $B(PHS1)=132$, $G(PHS2)=132$ y $R(PHS)=136$; por lo que es necesario ajustar los valores, como en la técnica anterior, para aproximarlos a los originales indicados en la Tabla 3.

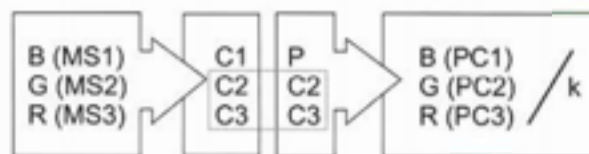
c. Técnica de sustitución del componente principal

El análisis de componentes principales (ACP) es una técnica de transformación lineal. Dada una serie de bandas de imagen, el algoritmo ACP genera un nuevo grupo de imágenes, conocidos como componentes, no correlacionados entre sí, ordenados en términos de la cantidad de varianza que explican del conjunto de imágenes originales (Eastman, 1999:41).

El primer componente contiene la mayor cantidad de varianza de los valores de reflectancia captados por el sensor, y los componentes posteriores se integran principalmente por ruido o por información no relevante.

El algoritmo ACP, se aplica a la imagen multiespectral para obtener tres componentes principales: C1, C2 y C3. La imagen pancromática se ajusta a los valores espectrales del primer componente (C1) y se ejecuta el proceso inverso de ACP para regresar los datos a su lectura original, sustituyendo el primer componente por la imagen pancromática (Chávez, 1991).

Esquema 3. Técnica de sustitución del componente principal



Una vez aplicado el algoritmo ACP, se obtuvo que el primer componente, como puede

Tabla3. Comparativo entre promedios de valores espectrales

BANDA	MEDIA	BANDA	MEDIA
MS1	30	PMS1	17566
MS2	53	PMS2	18131
MS3	46	PMS3	18887

Tabla 4. Porcentajes de varianza y valores de los componentes principales

COMPONENTE	C 1	C 2	C 3
% var.	98.27	1.47	0.26
eigenval.	1478.11	22.06	3.91

observarse en la Tabla 4, explica el 98% de la variación de los datos.

Los valores de las imágenes resultantes B(PC1), G(PC2) y R(PC3), presentan promedios de 77, 138 y 122 respectivamente, por lo que es necesario ajustarlos aproximadamente a los valores originales especificados en la Tabla 3.

3.3 Identificación de elementos urbanos

Con las imágenes secundarias producto de aplicar las técnicas anteriores, se crearon composiciones en color verdadero.

De las composiciones resultantes se tomaron secciones muestra de los usos de suelo de interés (agrícola, equipamiento y servicios, industrial, habitacional densidad baja y media), sobre las cuales se realizaron despliegues a diferentes niveles de acercamiento (zoom). En cada nivel se califica la definición de cada elemento urbano (vialidades, manzanas, vegetación, predios y construcciones).

En la Figura 1 se muestra un acercamiento de la zona de uso habitacional densidad baja, en la composición en color verdadero elaborada a partir de las bandas originales. En este nivel de acercamiento, los límites de los elementos son difusos.



1 Composición con bandas originales

En la Figura 2 se muestra la composición elaborada a partir de las bandas producto de la técnica multiplicativa, con similar nivel de acercamiento

que la Figura 1. Se observa una imagen mas oscura que la original, y es posible percibir una mejor definición de los elementos urbanos.



Figura 2. Composición técnica multiplicativa

La Figura 3 muestra la composición elaborada a partir de las bandas producto de la técnica de sustitución del canal de luminosidad. Es posible apreciar leves deficiencias en la definición de la vegetación, sin embargo, la resolución espacial se incrementó considerablemente con respecto a la técnica multiplicativa.



Figura 3. Composición técnica sustitución del canal de luminosidad

En la Figura 4 se muestra la composición producto de la sustitución del componente principal por la imagen pancromática. Esta imagen presentó, al igual que la anterior, un incremento significativo en la resolución espacial. Los elementos urbanos se definen con claridad y no presenta problemas en las tonalidades de los objetos.



Figura 4. Composición técnica sustitución del componente principal

4. RESULTADOS

La visualización de los elementos urbanos en los distintos usos de suelo, permitió valorar la calidad de la imagen resultante. Aún cuando las técnicas tuvieron como resultado un enriquecimiento de las imágenes originales, este se manifestó en grados distintos.

Se observó una mejoría leve como resultado de la técnica multiplicativa. En cambio, las técnicas de sustitución (componente principal y luminosidad) aumentaron considerablemente la calidad visual de las imágenes originales, ello se percibe aún en niveles altos de acercamiento, donde se observan con claridad los límites de los elementos.

Entre las técnicas sustitutivas, la de luminosidad, presentó deficiencias en la definición de vegetación y vialidades no pavimentadas, esta imagen puede sin embargo, ser enriquecida con procesamientos posteriores para mejorar su despliegue.

Con la técnica de sustitución del componente principal se obtuvo la mejor calidad visual de la información. Las imágenes, producto de la aplicación de esta técnica, presentaron gran enriquecimiento espacial de los datos, sin distorsionar los

valores, ni las tonalidades de los objetos, por ello, para su utilización en la elaboración de cartografía, aún cuando se genera a partir de una técnica básica, no es necesario realizar posteriores procesamientos.

La técnica de sustitución del componente principal, se aplicó a la cobertura total de la imagen, (área urbana de Mexicali) y a partir de ella, se elaboró cartografía predial urbana en formato digital. En la Figura 5 se observa el trazo de la cartografía de predios y construcciones sobre una porción de la imagen.



Figura 5. Cartografía predial urbana sobrepuesta a la imagen satelital

5. CONCLUSIONES

Aunque la fusión de datos permitió llevar la información original mas allá de sus limitantes espaciales y espectrales, las técnicas aplicadas presentaron diferencias en la definición de elementos urbanos, por lo que, algunas de ellas requieren de procesamientos previos o posteriores.

De esta forma, es posible comprobar que la homogeneidad del sensor y el manejo de imágenes de resoluciones y fechas próximas, en el presente caso, no influyeron de manera significativa en evitar la distorsión en el color y la pérdida de nitidez, en la imagen resultante. Por esta razón consideramos que el resultado obtenido se relaciona principalmente con la técnica aplicada.

Las técnicas básicas son relativamente sencillas de aplicar, y aun cuando se trata de imágenes con rango espectral amplio, como es el caso de las imágenes QuickBird, producen excelentes imágenes secundarias, e incluso en menor tiempo que las técnicas complejas.

Para procesar las imágenes del proyecto de registro inmobiliario, se seleccionó la técnica de sustitución del componente principal, la cual permitió obtener la imagen de Mexicali con resolución de 0.60 m en color verdadero, como un excelente insumo en la elaboración de cartografía predial urbana y el monitoreo urbano.

Finalmente, en la oficina de Catastro, se instauró un proceso de actualización permanente y normalizado de cartografía predial para alimentar al sistema, sustentado en la incorporación de imágenes satelitales fusionadas adquiridas en períodos específicos y en la verificación del crecimiento urbano como rutina de trabajo, para garantizar en el tiempo, un cobro más justo del impuesto predial.

¹ Predio, de acuerdo al Reglamento del Catastro Inmobiliario para el Municipio de Mexicali, B.C. (Periódico Oficial No. 3, de fecha 17 de enero de 1997 Tomo CIV), "Es una porción de terreno, con o sin construcción, limitada por un perímetro, comprendida dentro del Municipio, que constituya una sola propiedad, copropiedad, posesión o usufructo". Por lo que la cartografía predial intenta registrar espacialmente cada uno de los predios urbanos y suburbanos, así como las construcciones existentes en el Centro de Población.

² Mas información acerca del proyecto y de la metodología aplicada en el diagnóstico y elaboración de cartografía predial, en Ley García y Ranfta, 2001 La Corrección Cartográfica en La Conformación del Sistema de Información Catastral con la Utilización de Imagen Satelital en Mexicali, B. C., en la Memoria del XI Reunión Nacional SELPER México.

³ Zhang (2002) muestra la diferencia en el rango espectral de imágenes pancromáticas captadas por diferentes sensores, donde Ikonos, QuickBird y Landsat 7 presentan una mayor amplitud, invadiendo el infrarrojo cercano y por lo tanto, de acuerdo al autor, los algoritmos convencionales no funcionan en ellas, o bien, la fusión entre imágenes de distinta amplitud, y por tanto, distinto sensor, genera distorsiones.

⁴ Utilizamos Idrisi32 por ser el programa disponible en el momento, con licencia actualizada en la institución académica (UABC), aunque actualmente disponemos de software diverso para el procesamiento de imágenes.

⁵ En Mexicali la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas del Estado (SAHOPE) y la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali (CESPM), cuentan cada una con su red de puntos geodésicos posicionados. Para la corrección de las imágenes se utilizó el total de puntos de ambas redes, considerando la coordenada del punto físicamente posicionado contra la coordenada del punto visualizado en la imagen.

⁶ En Idrisi32, a diferencia de otros programas (software), es indispensable realizar el ajuste de datos al rango 0-255 para elaborar composiciones en color.

6. REFERENCIAS

Chavez, Pat S. Jr et al. 1991. Comparison of Three Different Methods to Merge Multiresolution and Multispectral Data: Landsat TM and SPOT Panchromatic. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Vol.57. No. 3: 295-303

Eastman, Ronald J. 1999. Guide to GIS image processing. Vol.1. Clark Labs., Clark University. Worcester, MA.

Ersboll, Bjarne K. et al. 1998. Fusion of SPOT HRV XS and Orthophoto Data Using a Markov Random Field Model. Fusion of Earth Data. Sophia Antipolis, France, 28-30.

Le Hégarat-Masclé, S. et al 2003. Multi-scale data fusion using Dempster-Shafer evidence theory. Integrated Computer-Aided Engineering. No.10: 9-22.

Liu, G.J. 2000. Smoothing Filter-based Intensity Modulation: a spectral preserve image fusion technique for improving spatial details. Remote Sensing. Vol. 21. No. 18: 3461-3472.

Schowengerdt, Robert A. 1980. Reconstruction of Multispectral, multispectral Image Data Using Spatial Frequency Content. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Vol.46. No.10: 1325-1334.

Vergara, Oscar Ricardo et al. 1997. Data Fusion In Urban Cartography. Revista SELPER. Vol.13. No. 1-2: 19-23.

Welch, R. y Ehlers, 1987. Merging Multiresolution SPOT HRV and Landsat TM Data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Vol.53. No.3: 301-303

Zhang, Yung. 2002. Problems in the Fusion of Commercial High-Resolution Satellite Images as Well as LANDSAT 7 images and initial Solutions. International Archives of Photogrammetry and remote Sensing. Vol. 34, Part 4. GeoSpatial Theory Processing and Applications.

Zhou, J. Civico et al. 1998. A wavelet transform method to merge Landsat TM and SPOT panchromatic data. International Journal of Remote Sensing. Vol.19. No.4: 743-757.

Estimación de la diferencia entre datos de temperatura superficial del mar de imágenes AVHRR y mediciones *in situ*, en la Bahía de Campeche

Padilla-Pilotze A.R.¹, Sorani V.² y Gaviño J. H.³

¹Instituto de Ciencias del Mar y Limnología Universidad Nacional Autónoma de México Tel: 56225828 e-mail: pilotze@servidor.unam.mx

²Centro de Educación Ambiental e Investigación Sierra de Huautla Universidad Autónoma del Estado de Morelos Tel: 3297019 ext. 6122 e-mail: vsorani@uaem.mx

³Centro Universitario de Investigaciones Oceanológicas Universidad de Colima Tel: 3311209 e-mail: gavino@cgic.ucol.mx

RESUMEN

El objetivo fue examinar datos de temperatura superficial del mar en la Bahía de Campeche, obtenidos de dos fuentes: i) datos medidos *in situ*, durante un crucero oceanográfico del 8 al 15 de febrero de 1996, con base en una red de 27 estaciones ubicadas geográficamente, cubriendo una área aproximada de 34,000 km²; ii) imágenes del Advance Very High Resolution Radiometer del satélite National Oceanic and Atmospheric Administration cercanas al periodo del crucero. Las correlaciones entre las mediciones *in situ* y la información generada con las imágenes no fueron mayores que 0.75. Sin embargo, los patrones resultantes de distribución de temperatura superficial del mar de las dos fuentes fueron similares cualitativamente. Los cortes verticales refuerzan el comportamiento superficial de temperatura en ambos casos. Se detectan algunos errores imputables al efecto atmosférico. Los resultados reafirman que las imágenes son una manera práctica para estimar el campo de distribución de temperatura superficial del mar, semejante al que se obtiene con mediciones *in situ*.

Palabras Clave: AVHRR, Bahía de Campeche, *in situ*, Isothermas

ABSTRACT

The objective was to examine sea surface temperature data in the Campeche Bay obtained from two sources: i) data measured *in situ* during a research cruise carry out from February 8th to 15th, 1996; the track was based on a grid of 27 stations located geographically and covering an approximate area of 34,000 km²; ii) images of the Advance Very High Resolution Radiometer on National Oceanic and Atmospheric Administration satellite

near to the period of the research cruise. The correlations between the measurements *in situ* and the information generated with the images were not greater than 0.75. However, the patterns of sea surface temperature distribution from the two sources were qualitatively similar. Vertical sections support the behavior of surface temperature in both cases. Some errors are detected attributable to the atmospheric effect. The results reaffirm that images are a practical way to estimate the field of distribution of sea surface temperatures similar to the estimate obtained by measurements *in situ*.

Keywords: AVHRR, Bahía de Campeches, *in situ*, Isotherms

1. INTRODUCCIÓN

Las investigaciones oceanográficas en México se incrementaron a partir de 1981 con la adquisición de los buques oceanográficos "Justo Sierra" y "El Puma" por parte de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). La facilidad de contar con otra herramienta complementaria desde el aspecto de la oceanografía física, surgió con la instalación en 1994 en el Instituto de Geografía de la UNAM de una antena receptora de imágenes, Advance Very High Resolution Radiometer (AVHRR) del satélite National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), lo cual hizo posible comparar los patrones de distribución de temperatura superficial del mar (TSM), de una misma área geográfica derivados de dos fuentes.

Comúnmente las mediciones de la TSM *in situ* se realizan con base en una red de estaciones, con una limitante, las mediciones no corresponden a un mismo punto en el tiempo, entre mas grande es la red mayor es la diferencia en el tiempo. Las imágenes no tienen este inconveniente pero la exactitud del valor de TSM es menor, este problema

ha sido largamente discutido desde los años 1970 's (Li et al., 2001). No obstante las imágenes AVHRR son una herramienta de gran utilidad, por medio de ellas se logra observar la estructura de TSM con extenso alcance espacial, donde se pueden detectar fenómenos físicos tales como plumas térmicas (Tang et al., 2003), remolinos y giros (Gonzalez-Silvera, 2004). Las imágenes han permitido identificar surgencias (Askari, 2001), estimaciones derivadas de las imágenes son utilizadas para crear las condiciones de frontera para modelos de circulación hidrodinámica regional (Gibbs y Shaw, 2002), su restricción es que en rigor sólo son representativas de la temperatura en una capa extremadamente delgada, sin embargo, permiten apreciar la distribución en la columna de agua de otros parámetros relacionados con la temperatura, siempre y cuando se verifique una buena correlación entre los valores de temperatura estimados a partir de los sensores remotos y los valores obtenidos in situ (Perez-Marrero et al., 1999).

En este trabajo se aplicaron diferentes criterios para obtener compuestos de TSM a partir de un conjunto de imágenes, se calculó la correlación entre los datos de temperatura derivados de estos compuestos y los datos medidos in situ para estimar cual criterio proporciona mayor exactitud. Se hicieron cortes horizontales de TSM con los datos medidos in situ utilizando diferentes métodos de interpolación. Los compuestos y los cortes horizontales se compararon cualitativamente para determinar cuales coincidían más. Se cotejaron los valores de temperatura satelitales y los medidos in situ con mayor correspondencia en tiempo, con la finalidad de analizar su exactitud. Se graficaron cortes verticales para observar su relación con los patrones de distribución de TSM.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Mediciones in situ

El área de estudio está situada al sur de la Bahía de Campeche, la cual es una de las regiones más preciada del mar patrimonial mexicano por el valor económico de sus pesquerías y la existencia de mayor importancia de depósitos de hidrocarburos, recursos estratégicos en la economía nacional y mundial. Por estas razones en la Bahía de Campeche se han desarrollado numerosos proyectos de investigación con carácter multidisciplinario, entre ellos proyectos de oceanografía física, en especial los relacionados con la hidrodinámica debido a sus implicaciones sobre las pesquerías, la distribución de desperdicios industriales y la construcción de plataformas petroleras. Dentro de este marco se realizó el proyecto "Monitoreo de prerreclutas de especies estuarino dependientes, comunidades bénticas y mareas internas del sur del Golfo de México" (MOPEED). En el ámbito de este proyecto se efectuó el cruceo oceanográfico MOPEED 17, durante el cual se hicieron 27 estaciones oceanográficas distribuidas en 5 transectos perpendiculares a la costa (Figura 1). Los transectos se numeran del uno al cinco (de oeste a este). El área de estudio se localiza entre 18° 20' y 19° 50' de latitud norte y 91° 30' y 94° 30' de longitud oeste, con una superficie aproximada de 34,000 km².

La ubicación espacio temporal de las estaciones se realizó con el sistema de satélites Global Positioning System (GPS), mediante el navegador de satélite TRANSIT/GPS, con una precisión de 1 segundo en el tiempo y 37 m en el espacio (Magnavox, 1987). Se hicieron observaciones en

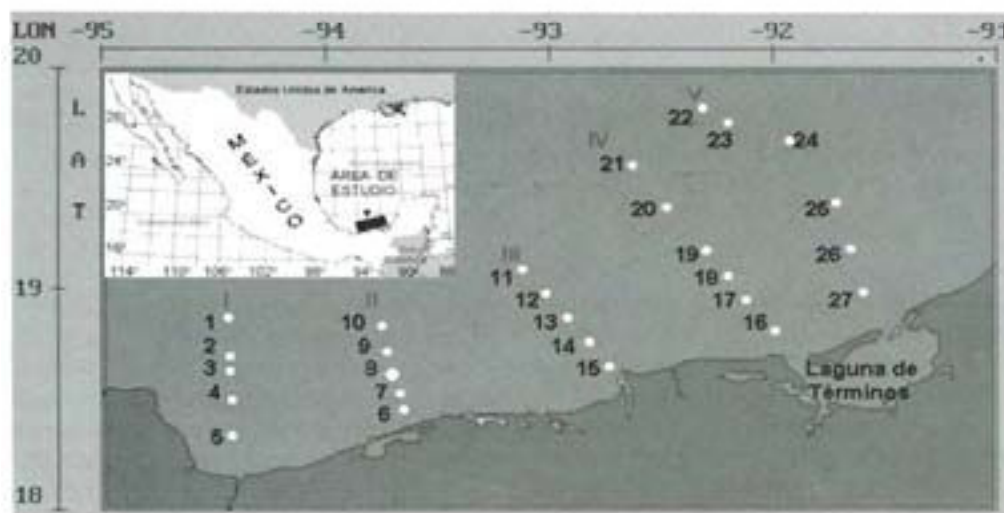


Figura 1. Área de estudio y localización de estaciones.

las 27 estaciones de la red con una sonda que mide conductividad, temperatura y presión (CTD) con exactitud de 0.001 mS/cm, 0.001 °C y 0.05% FS respectivamente (www.generaloceanic.com, 2003). Las mediciones se iniciaron unos segundos antes de sumergir el CTD en el agua con el propósito de obtener el dato de TSM. El intervalo de muestreo fue de un décimo de metro en la columna de agua. Mediante el paquete computacional (paquete) del CTD (General Oceanics, 1990) se calculó salinidad y profundidad.

Planos horizontales de temperatura de datos in situ

Las isothermas de los cortes horizontales superficiales se trazaron mediante tres métodos de interpolación. A continuación se describen los procedimientos.

(i) Trazo manual combinado con los paquetes ARC/Info (1992) y GRASS (1989). Se localizaron las estaciones sobre un plano de la zona, con los valores correspondientes de TSM para cada estación se calcularon valores interpolados linealmente y se trazaron manualmente las isothermas, a partir de esta gráfica con los paquetes ARC/Info y GRASS se obtuvo la distribución horizontal de TSM que se muestra en la Figura 2(a).

(ii) Procesamiento utilizando los paquetes ARC/Info y GRASS. Con los datos de posición geográfica, TSM y el paquete ARC/Info se graficaron las estaciones y se trazaron las isolineas, este paquete interpoló con el método inverso del cuadrado de la distancia. Finalmente con GRASS se elaboró la gráfica que se muestra en la Figura 2(b).

(iii) Procesamiento con el sistema SIGO (Padi-lla-Pilotze, 2002). Con este sistema que

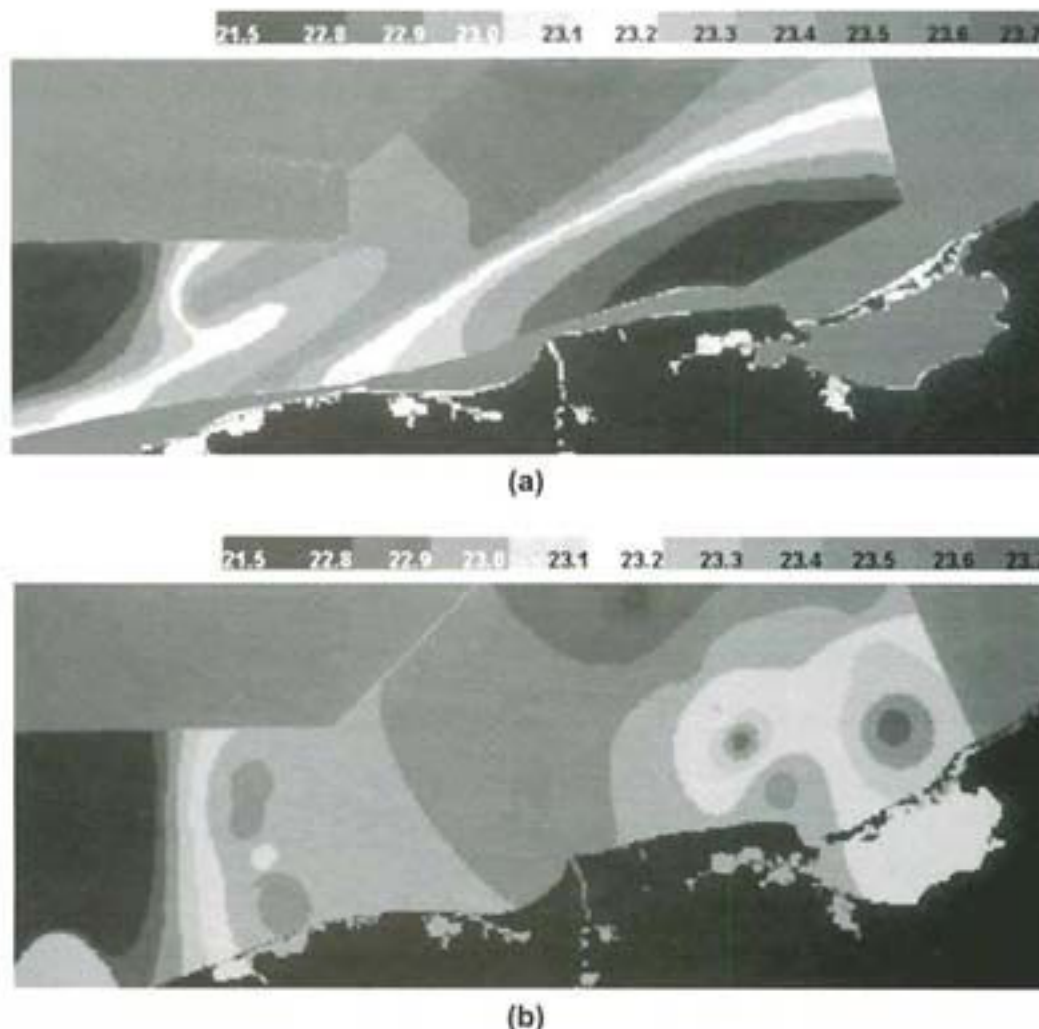


Figura 2. Distribución de TSM, datos del CTD, procesamiento (a) manual combinado con los paquetes ARC/Info y GRASS y (b) con paquetes ARC/Info y GRASS.

utilizó el método de interpolación bilineal se obtuvo la distribución horizontal y vertical de temperatura. La Figura 3(a, b) corresponde a la distribución horizontal de TSM y temperatura a 10 m de profundidad. La Figura 4(a, b) presenta la distribución vertical de temperatura en los transectos I y II.

Imágenes AVHRR

El AVHRR está montado en los satélites de órbita polar NOAA y tiene una resolución de 1.1 km² sobre el nadir. Los datos de radiancia y brillantez de TSM derivan de los 5 canales con los que cuenta, dos en el visible (0.58 - 0.68 μ m y 0.72 - 1.10 μ m) y tres en el infrarrojo (3.55 - 3.93 μ m, 10.3 - 11.3 μ m y 11.5 - 12.5 μ m). Para los canales del infrarrojo el ruido aproximado es de 0.12 °C (SeaSpace, 1995).

Las imágenes AVHRR se capturaron por medio de la antena receptora instalada en el Instituto de Geografía de la UNAM. Éstas tienen una alta resolución radiométrica dentro de un intervalo de 0 a 1023 (10 bits = 210).

Los datos crudos que se obtienen de las imágenes se procesaron con las funciones indicadas en

el manual del sistema TeraScan (SeaSpace, 1995), realizando el siguiente procedimiento: se extrajeron los datos AVHRR de los datos High Resolution Picture Transmission (HRTS), se calibraron los datos y se convirtieron a temperatura radiométrica, en grados Celsius, se corrigieron los datos erróneos y se llenaron los huecos por interpolación, se redujo el ruido y se calculó la TSM con el algoritmo MCSST (McClain et al., 1985). Posteriormente, con el sistema GRASS (1989), las imágenes se corrigieron geométricamente y se remuestrearon con celdas de 1 x 1 Km.

Selección de imágenes

De las 12 imágenes AVHRR existentes cercanas en el tiempo al periodo durante el cual se realizaron las estaciones oceanográficas, se seleccionaron ocho que tenían menor cobertura de nubes. La localización en el tiempo tanto de las estaciones (líneas verticales) como de las imágenes AVHRR (círculos) se ve en la Figura 5.

La Figura 6 muestra un contador de la frecuencia de datos (de 0 a 8) por píxel de las ocho imágenes.

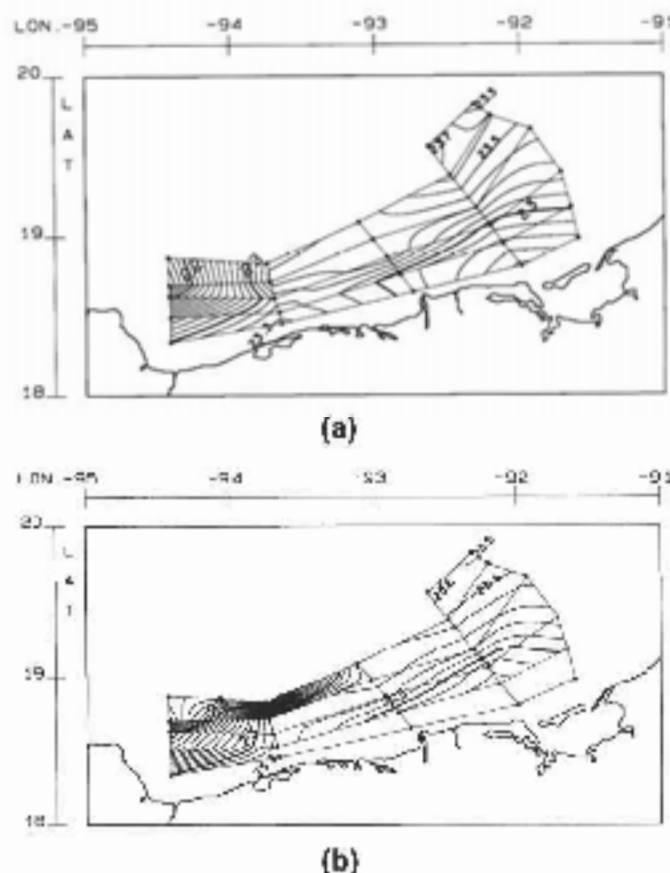
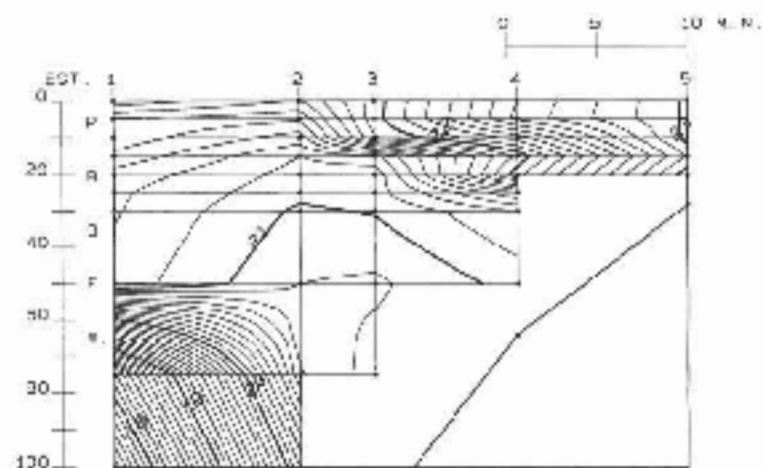
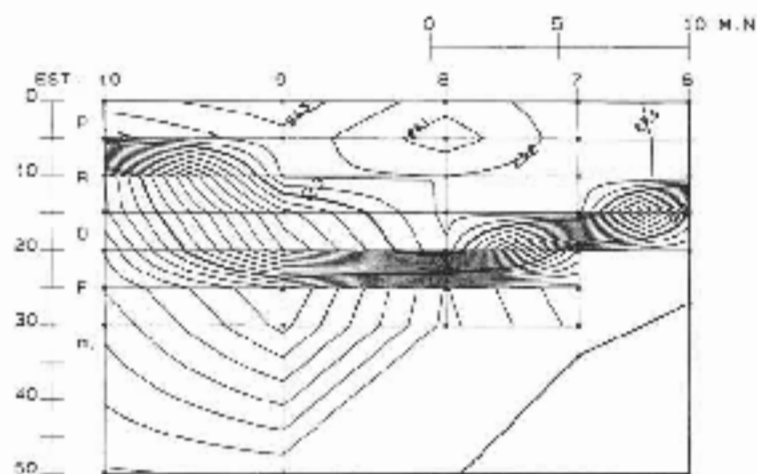


Figura 3. Distribución horizontal de temperatura, datos del CTD procesados con el SIGO. (a) superficial y (b) a 10 m de profundidad.



(a)



(b)

Figura 4. Distribución vertical de temperatura, datos del CTD procesados con el SIGO.
(a) en el transecto I y (b) en el transecto II.

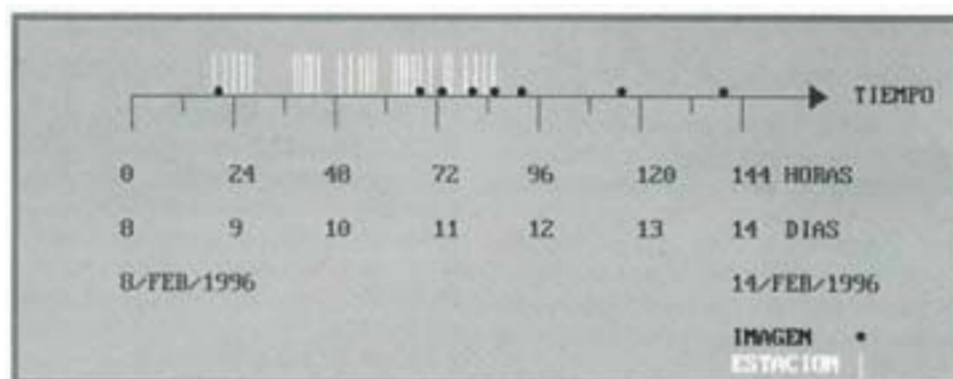


Figura 5. Imágenes y estaciones ubicadas en el tiempo.

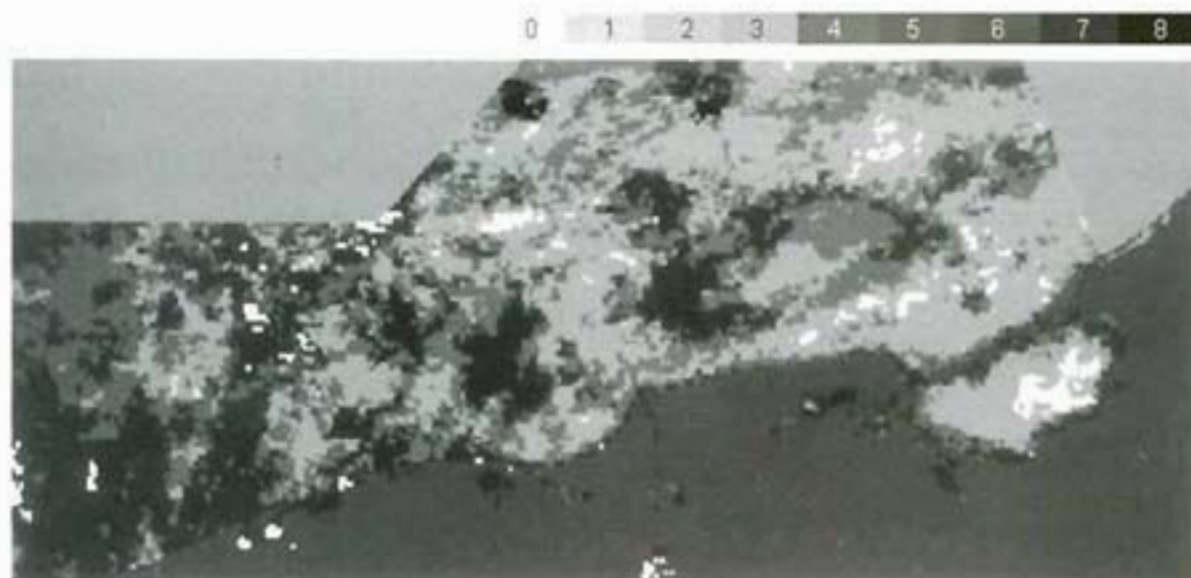


Figura 6. Datos de TSM por pixel.

Compuestos

A partir del juego de las ocho imágenes con diferente cobertura de nubes, donde cada píxel puede tener de 0 a 8 datos, se decidió hacer tres compuestos utilizando uno de los tres criterios siguientes para cada uno de ellos.

(i) Compuesto de TSM máximo (CM). En cada píxel se seleccionó el máximo valor de TSM.

(ii) Compuesto de TSM promedio (CP). Se calculó el promedio de los valores de TSM en cada píxel.

(iii) Compuesto de TSM tiempo (CT). Se tomó una imagen base por fecha y se fueron llenando los huecos correspondientes a la presencia de nubes con datos de las otras imágenes dando prioridad a las imágenes más cercanas en tiempo a las fechas y horas en que se realizaron las estaciones oceanográficas.

En la Figura 7(a, b, c) se presentan los compuestos correspondientes.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Si se compara los patrones de distribución de TSM de los tres compuestos y los tres productos derivados de las mediciones in situ observamos que:

La gráfica procesada con los paquetes ARC/Info y GRASS (Figura 2(b)) muestra núcleos de agua fría y de agua caliente, que no se detectan en los otros patrones de distribución de TSM.

El CP (Figura 7(b)) expone una mayor distribución de agua de menor temperatura (a la izquierda

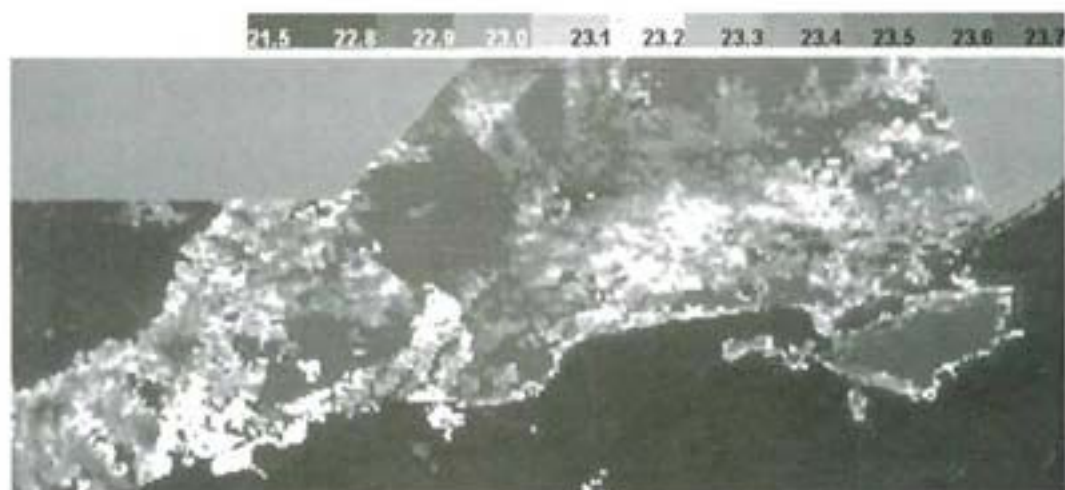
de la laguna de Términos) hacia mar adentro, que no se observa en los otros patrones de distribución de TSM.

Se puede notar que cualitativamente los patrones de distribución de TSM que tienen más semejanza entre sí son: el que se obtuvo con el procesamiento manual combinado con los paquetes GRASS y ARC/Info (Figura 2(a)), el elaborado con el SIGO (Figuras 3(a)), el CM (Figura 7(a)) y el CT (Figura 7(c)).

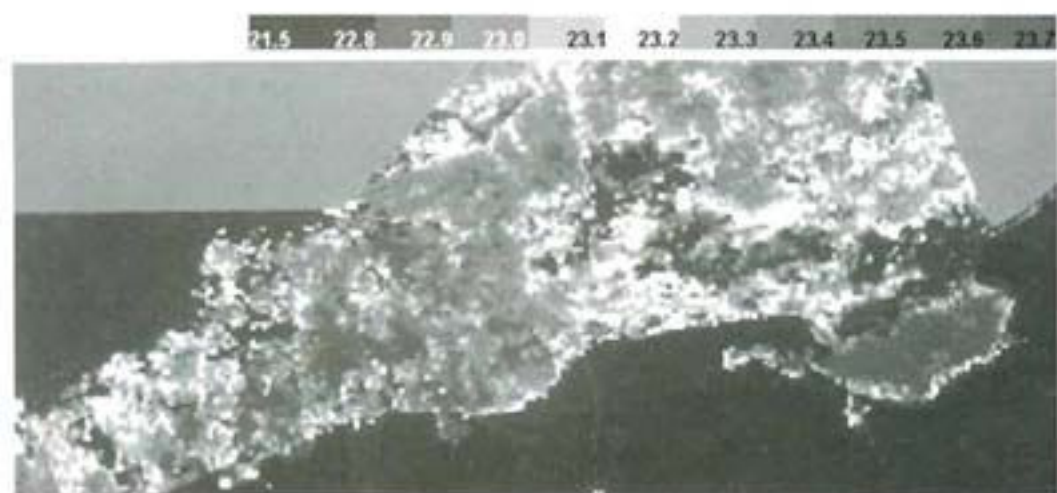
Si se analiza los cortes verticales de los transectos I y II Figura 4(a, b) donde se localizan los gradientes más fuertes de temperatura, se observa que éstos también son visibles en los cortes horizontales. Al comparar la Figura 3(a) y 4(a, b) se nota que la estructura de TSM se refleja hasta los 5 m de profundidad, lo que está de acuerdo con los resultados presentados por Pérez et al. (1999). A los 10 m Figura 3 (b) la estructura se manifiesta diferente.

Correlación

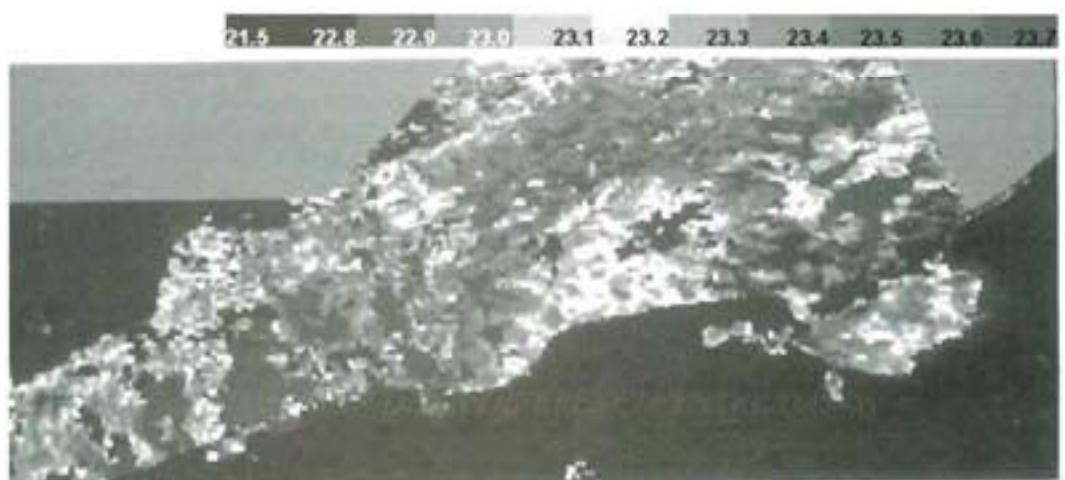
Con el fin de calcular la correlación (Spiegel et al., 2001) entre los valores de TSM medidos in situ y los generados de las imágenes correspondientes a las estaciones oceanográficas, se hicieron cuatro series de valores a partir de las mediciones con el CTD y los derivados de los compuestos máximo, promedio y tiempo. En los compuestos no se encontraron valores para las estaciones 21, 22, 23 y 24 por lo que éstas no se consideraron en las series (Tabla 1). En la Figura 8 se exponen las gráficas de las series.



(a)



(b)



(c)

Figura 7. Compuesto de TSM. (a) máximo, (b) promedio, (c) tiempo.

Tabla 1. Series de valores de TSM generadas con el CTD y los compuestos: máximo, promedio y tiempo.

Estación	CTD °C	CM °C	CP °C	CT °C	Estación	CTD °C	CM °C	CP °C	CT °C
1	21.8	22.0	21.5	21.9	13	23.4	23.6	23.4	23.6
2	21.6	22.5	21.6	22.5	14	22.9	23.9	23.3	23.2
3	22.0	22.9	22.1	22.9	15	22.9	23.5	22.6	23.5
4	22.6	23.1	22.9	23.1	16	22.6	23.5	22.8	22.7
5	23.0	23.3	23.0	23.3	17	22.8	23.4	23.0	23.4
6	23.3	24.3	23.6	24.3	18	23.0	23.4	23.3	23.4
7	23.3	24.4	23.5	23.7	19	23.3	23.5	22.8	23.1
8	23.1	23.7	23.2	23.7	20	23.6	24.2	23.6	23.0
9	23.4	23.0	22.2	23.0	25	23.3	23.8	23.6	23.8
10	23.3	24.1	22.6	23.2	26	23.0	23.4	21.6	23.4
11	23.3	24.0	23.4	23.3	27	22.8	24.3	23.3	24.3
12	23.4	23.7	23.5	23.6					

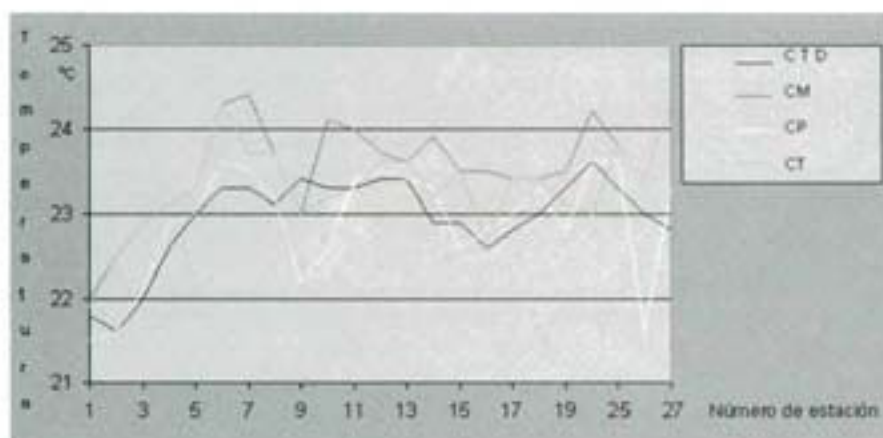


Figura 8. Series de valores de TSM procedentes del CTD y de los compuestos: máximo, promedio y tiempo.

Los resultados de los cálculos de la correlación entre la serie del CTD y cada una de las series de los compuestos se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Correlación entre series de valores de TSM in situ y satelitales.

Series	R
CTD – CM	0.75
CTD – CP	0.70
CTD – CT	0.61

La correlación más baja fue CTD – CT, lo que sugiere que nuestro experimento se realizó ante un fenómeno físico en el que el tiempo (en un lapso de días) no fue significativo. En algunos

fenómenos físicos el tiempo es importante debido a la dinámica de los procesos, sin embargo, si la estructura es estacionaria el tiempo no es relevante. Hay que resaltar que de los tres compuestos, cualitativamente el CP mostró ser el menos similar con respecto a los patrones de distribución de TSM derivados de las mediciones con el CTD, no obstante, su correlación fue mayor a la del CT. Para hacer el CP se calculó el promedio de los valores de TSM en cada píxel, a pesar de que en cada píxel los valores no corresponden al mismo punto en el tiempo ni el número de datos es el mismo. Ninguna de las tres correlaciones fue mayor que 0.75. Los resultados de las correlaciones en este trabajo se consideran aceptables. Algunos errores definitivamente se deben a efecto atmosférico (Ruttenberg, 1981), estos errores han sido ampliamente discutidos

Kumar et al. (2003) señalan diferentes investigaciones sobre este tema (Hagan 1989; Wick et al. 1992; Walton et al. 1998).

Pasos de satélite

Se analizaron las coincidencias que pudiera haber entre las horas de los pasos de satélite de las imágenes y las horas en que fueron realizadas las estaciones oceanográficas, con el fin de comparar los valores de TSM. Se encontró que la estación 20 fue la más cercana al paso del satélite. Las estaciones 19, 25, 26 y 27 se aproximaron al paso del satélite (Tabla 3). De 27 valores de TSM correspondientes a las estaciones únicamente se pudieron comparar 5 contra los valores de las imágenes debido a que la sincronía entre la hora del paso de satélite y la hora en que se realizó cada estación oceanográfica es una condición deseable pero difícil de lograr. Por otro lado aunque se pudiera conseguir esta sincronía, la cobertura de nubes en las imágenes es un fenómeno sobre el cual no se tiene control alguno. La diferencia más grande entre los valores de TSM se encuentra en la mayor coincidencia en tiempo entre la hora que se realizó la estación 20 y el paso del satélite (Tabla 3). Se descarta que esta diferencia sea resultado de una medición errónea del CTD, considerando que los valores de TSM de sus estaciones vecinas no difieren de más de 0.3 °C. Además los valores de temperatura por debajo de la superficie de la estación 20 refuerzan el valor superficial (Tabla 4).

Un análisis de la relación entre mediciones *in situ* de TSM y la derivada de imágenes AVHRR indican que es posible obtener una exactitud de 0.5 °C o mejor (Wellington et al., 2001; Wooster et al., 2001). Lo que concuerda con las diferencias (Tabla 3) excepto en la estación 20 cuya diferencia excede 0.1 °C al 0.5 °C señalado.

Li et al. (2001) encontraron que la diferencia entre mediciones *in situ* de TSM y la derivada de imágenes AVHRR fue 0.4 °C durante el día y 0.2 °C durante la noche. Lo que se ajusta con las diferencias (Tabla 3), si se considera que las estaciones 25 y 26 fueron nocturnas (3.35 hrs., 5.33 hrs.) y las

estaciones 19, 20 y 27 fueron diurnas (12.56 hrs., 14.08 hrs. y 7.2 hrs.), las menores diferencias se observan en las estaciones nocturnas. La diferencia en la estación 20 excede con 0.2 al 0.4 °C indicado.

4. CONCLUSIONES

Si bien la correlación entre los valores de TSM generados a partir de las mediciones *in situ* y los derivados de las imágenes no fue mayor que 0.75, los patrones de distribución de TSM emanados de las imágenes resultaron similares cualitativamente, a los que se obtuvieron de las mediciones *in situ*. La correlación del CP fue mayor a la del CT. La técnica utilizada en el CP, empleada en otros campos para procesar imágenes, es una buena opción para estimar la TSM, aunque hay que considerar que fue el compuesto que presento agua de menor temperatura que no se observó en los otros patrones de distribución de TSM. El criterio que se aplicó para elaborar el CM sería el más recomendado debido a que su correlación fue la más alta, a reserva de comprobar este resultado en futuros ensayos.

Se identificó un fuerte gradiente de temperatura entre los transectos I y II que se manifestó en todas las estructuras de TSM presentadas en este trabajo.

El patrón de distribución de la TSM se refleja hasta los 5 m de profundidad.

Los planos horizontales de TSM que tienen mayor similitud con los compuestos fueron los que se obtuvieron con el SIGO y con el proceso manual combinado con los paquetes ARC/INFO y GRASS.

De las cinco diferencias de la TSM cercanas al paso de satélite y las tomadas *in situ* cuatro estuvieron dentro del rango 0.0C 0.2 °C.

Las imágenes no pueden sustituir las mediciones de TSM que se realizan en un crucero oceanográfico desde un punto de vista cuantitativo y están limitadas a proporcionar sólo valores de TSM pero tampoco el barco puede reemplazar a las imágenes AVHRR debido a su alcance espacial para detectar fenómenos físicos de gran escala. Las imágenes y los cruceros oceanográficos son

Tabla 3. Diferencia de TSM.

Estación	Hora de Estación	Hora del paso del satélite	Diferencia De hora	TSM °C CTD	TSM °C Imagen	Diferencia de TSM °C
19	66.27	68.07	1.80	23.3	23.1	0.2
20	68.21	68.07	0.14	23.6	23.0	0.6
25	81.47	80.50	0.97	23.3	23.3	0.0
26	83.47	85.55	2.08	23.0	22.9	0.1
27	85.31	85.55	0.24	22.8	22.7	0.1

Tabla 4. Estación 20.

Profundidad M	Temperatura °C
0	23.65
1	23.66
2	23.66
3	23.65
4	23.66
5	23.63

herramientas complementarias.

Un factor aleatorio es la nubosidad que se convierte en una limitante para obtener información puntual.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su gratitud al Dr. Román Álvarez por autorizar la utilización de las imágenes AHVRR, al Dr. Cesar Flores por la invitación a participar en el crucero MOPEED 17 y a la M. en C. Gabriela Gómez por su colaboración en el procesamiento de las imágenes.

6. REFERENCIAS

- ARC/INFO versión 6.1.1; (1992) "Environmental Systems Research Institute". ESRI. Redlands, California, USA.
- Askari, F.; (2001) "Multi-sensor remote sensing of eddy-induced upwelling in the southern coastal region of Sicily". *Remote Sensing*, v. 22, n.15, p. 2899-2910.
- General Oceanics; (1990) "Oceansoft CTD post processing Software Manual p/n manual-10241". General Oceanics, Miami, Florida, USA. 111 p.
- General Oceanics; (2003) "The 320 multiparameter CTD". [en línea]. Dirección URL: < www.generaloceanic.com > [Consulta: 7 sep. 2004].
- Gibbs, M.T. y A.G.P. Shaw; (2002) "The use of AVHRR data in a pilot study for investigating and modelling regional ocean circulation". *Remote Sensing*, v. 23, n. 1, p. 199-204.
- GRASS version 3.1; (1989) "The Geographical Resources Analysis Support System". Army Construction Engineering Research Laboratory (CERL), Champaign, Illinois, USA.
- Gonzalez-Silvera, A., E. Santamaria-del-Angel, R. Millán-Núñez and H. Manzo-Monroy; (2004) "Satellite observations of mesoscale eddies in the Gulfs of Tehuantepec and Papagayo (Eastern Tropical Pacific)". *Deep-Sea Research II*, v. 51, n. 6-9, p. 587-600.
- Hagan, D.E.; (1989) "A basic limitation of the split window method for SST retrievals when applied to a wide range of water vapor condition". *Geophysics Research Letter*, v. 6, p. 815-817.
- Kumar, A., P.J. Minnett, G. Podesta and R.H. Evans; (2003) "Error Characteristics of the Atmospheric Correction Algorithms Used in Retrieval of Sea Surface Temperature from infrared Satellite Measurements: Global and Regional Aspects". *Journal of the Atmospheric Sciences*, v. 60, n. 3, p. 575-585.
- Li, X., W. Pichel, P. Clement-Colón, V. Krasnopolsky and J. Sapper; (2001) "Validation of coastal sea and lake surface temperature measurements derived from NOAA/AVHRR data". *Remote Sensing*, v. 22, n. 7, p. 1285-1303.
- McClain, E.P., W.G. Pichel and C.C. Walton; (1985) "Comparative performance of AVHRR based multichannel sea surface temperatures". *Journal Geophysical Research*, v. 90, p. 11587-11601.
- Magnavox; (1987) "Navigator's Manual MX 1102/1107 GPS Transit/GPS Satellite Navigator". Magnavox Advanced Products and Systems Company. Torrance, California, USA.
- Padilla-Pilotze, A.R.; (2002) "Sistema de información geográfica de los océanos". Tesis Doctoral. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional Autónoma de México. 98 p.
- Pérez-Marrero, J., A. Cianca, R. Santana, E. Pérez-Martell, M.J. Rueda y O. Llinás; (1999) "Asignación de profundidad significativa a las observaciones remotas de la temperatura superficial del mar". *Revista de Teledetección*, n. 12 p. 3 de 3.
- Ruttenberg, S.; (1981) "Satellite Sea Surface Temperature Measurements an Introduction". *Marine Science*, v. 13, p. 71-72.
- Spiegel, M.R., J.J. Schiller and R.A. Srinivasan; (2001) "Probabilidad y Estadística". McGraw-Hill, Bogotá, Colombia. 416 p.
- SeaSpace; (1995) "TeraScan 2.6 Reference Manual". SeaSpace Corporation, San Diego, USA. 932 p.
- Tang, D.L., D.R. Kester, Z. Wang, J. Lian and H. Kawamura; (2003) "AVHRR satellite remote sensing and shipboard measurements of the thermal plume from the Daya Bay, nuclear power station, China". *Remote Sensing of Environment*, v. 84, n. 4, p. 506-515.
- Walton, C.C., W.G. Pichel, J.F. Sapper and D.A. May; (1998) "The development and operational application of nonlinear algorithms for measurements of the sea surface temperature with a NOAA polar-orbiting environmental satellites". *Journal Geophysical Research*, v. 103, n. C12, p. 27999-28012.
- Wick, G.A., W.J. Emery and P. Schuessel; (1992) "A comprehensive comparison between satellite-measured skin and multichannel sea surface temperature". *Journal Geophysical of Geophysical Research C. Oceans*, v. 97, n. C4, 100, p. 5569-5595.
- Willington, G.M., A.E. Strong and G. Merlen; (2001) "Sea Surface temperature variation in the Galápagos Archipelago: A comparison between AVHRR nighttime satellite data and in situ instrumentation (1982-1998)". *Bulletin of marine Science*, v. 69, n. 1, p. 27-42.
- Wooster, M., G. Patterson, R. Loftie and C. Sear; (2001) "Derivation and validation of the seasonal thermal structure of Lake Malawi using multi-satellite AVHRR observations". *Remote Sensing*, v. 22, n. 15, p. 2953-2972.

Cuantificación de variaciones temporales de coberturas hídricas con datos satelitales y su aplicación en la calibración de un modelo hidrológico

Alvaro Soldano¹, Gabriel Barria², Nathalie Horlent³, Dora Goniadzi⁴, Jorge Collins⁵

(1,2,3,4) Sistemas de Información y Alerta Hidrológico, Instituto Nacional del Agua. AU Ezeiza-Cañuelas tramo J. Newbery Km 1620 (1804) Ezeiza, Bs. As., Argentina.

(5) Centro Regional Litoral, Instituto Nacional del Agua. Patricio Cullen 6161, S3004IYC-Santa Fe, Argentina. (1) asoldano@ina.gov.ar, (2) gbarria@ina.gov.ar, (3) nhorlent@ina.gov.ar, (4) dgonia@ina.gov.ar, (5) jcollins@ina.gov.ar

RESUMEN

La región de la laguna La Picasa, al sur de la provincia Santa Fe, ha sufrido recurrentes inundaciones en los últimos años que provocaron un aumento espectacular de la superficie de este cuerpo de agua. Este fenómeno impactó negativamente sobre la población, el sistema productivo y las vías de comunicación. La alternativa de mitigación propuesta es la construcción del denominado "Canal Norte", cuya finalidad es evacuar excedentes hídricos hacia el río Paraná. Los objetivos de este trabajo fueron: cuantificar las variaciones temporales de las coberturas hídricas en la cuenca propia, e integrar la información analizada en un sistema de información geográfica a fin de aportar datos para la calibración del modelo hidrológico utilizado para estimar aportes al canal. Para el logro de estos objetivos se utilizaron imágenes satelitales Landsat 5TM, datos del SIG 250 (IGM) y curvas de nivel (Dirección de Geodesia Provincial).

Palabras clave: mitigación de inundaciones, imágenes satelitales, sistemas de información geográfica.

ABSTRACT

In the last years, the region of La Picasa pond, in the south of Santa Fe Province, undergone recurrent floods that caused a very significant increase in the pond surface level.

This produced a negative impact on the population, on the productive system and on both the routes and railroads; this impact has not still been totally overcome.

The construction of the denominated North Channel was proposed as an alternative of mitigation with the purpose of conveying water excesses from La Picasa towards the Parana

River, thus depleting the pond. The objectives of this study were to assess the temporal variation of the water coverage of the different water bodies in the pond catchment, to observe the runoff of precipitated water and to integrate the analyzed information in a geographical information system in order to supply data for the calibration of a hydrological model used to estimate lateral inflows to the channel.

For the study, it was used Landsat 5TM Satellite Images, data of GIS 250 and maps of the area with elevation contours (source: Dirección de Geodesia Provincial).

Keywords: flood mitigation, geographical information systems.

1. INTRODUCCIÓN

La laguna La Picasa está ubicada al sur de la provincia de Santa Fe, en el límite con la provincia de Buenos Aires, abarcando parcialmente los distritos de Aarón Castellanos y Diego de Alvear (Baccaglio et al 2003). La laguna forma parte de una extensa cuenca que lleva su nombre, que involucra las provincias de Santa Fe, Córdoba y Buenos Aires con una superficie total de 550.000 ha (Ministerio de Obras, Servicios Públicos y Vivienda del Gobierno de Santa Fe, 2001).

A partir de septiembre de 1997 se registraron en la zona lluvias extraordinarias que prácticamente duplicaron los valores medios anuales de precipitación, pasando de 900 mm a 1700 mm aproximadamente. Como consecuencia de esto la laguna sufrió un incremento en su superficie de 7.841 ha (año 1994) a 31.500 ha (en 2003) (Baccaglio et al., 2003), mientras que los correspondientes niveles que alcanzó la laguna aumentaron de 98.7 m hasta superar los 105 m en la actualidad (Ministerio de Obras, Servicios Públicos y Vivienda del Gobierno de Santa Fe,

2001, Baccaglio et al., 2003).

El fenómeno de la expansión de la laguna La Picasa se debe a varios factores. El incremento en las lluvias es el principal de ellos pero también se reconocen otros factores importantes. Uno de ellos es el cambio histórico en el clima de la zona que pasó de ser templado subhúmedo hasta semiárido a marcadamente templado húmedo a partir de la década del '70. Esto produjo que en las últimas décadas los excesos de agua sean superiores a las salidas por evapotranspiración y drenaje superficial, y que la capa freática ascienda y aflore en las zonas más deprimidas del paisaje. (Tchilinguirian et al., 2003).

Otro factor importante es que las condiciones naturales del sistema físico de la cuenca influyen en la persistencia del anegamiento, ya que es una cuenca endorreica sin red de drenaje jerarquizada, en la cual la salida del agua es lenta porque se produce predominantemente por evapotranspiración o infiltración desde las zonas deprimidas. Por último deben mencionarse los factores antrópicos que introducen modificaciones al medio. La cuenca de La Picasa sufrió degradación en sus suelos y disminución de la capacidad de almacenamiento por el crecimiento de la superficie agrícola en detrimento de la ganadera y por una sobreexplotación del suelo con prácticas intensivas de dobles cultivos anuales. A esto se agrega el incremento en la infraestructura de caminos, vías férreas, rutas y canales que alteran el normal escurrimiento de las aguas (Ministerio de Obras, Servicios Públicos y Vivienda del Gobierno de Santa Fe, 2001).

Por último existen en el área canalizaciones o cuneteos, generalmente precarios y sin proyecto, realizados para mitigar en forma rápida una situación de inundación excepcional, adquiriendo el carácter de trasvasamiento semi-permanente. Estos son de escasa eficiencia cuando se han construido por los motivos expuestos anteriormente pero, se han observado en el campo obras hidráulicas que presentan un perfil más permanente con obras, de arte de construcción adecuada, que merecen "a posteriori" un análisis particular porque probablemente modifiquen en forma definitiva la conformación del sistema hídrico actual (Instituto Nacional del Agua, 2004).

Entre las consecuencias más importantes de esta situación de excesos hídricos se mencionan las pérdidas en el sistema productivo y su imperiosa necesidad de cambio o cambios en el sistema productivo, pérdida de superficie de pastoreo, salinización de suelos, pérdida de caminos rurales, salinización de pozos de agua rurales y

el anegamiento de pozos sépticos por ascenso regional de la capa freática (Tchilinguirian et al., 2003).

Como alternativa de mitigación la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SSRH) propuso la construcción de un canal de descarga denominado Canal Norte desde la laguna hasta el río Paraná, que permita evacuar los excedentes de agua. El proyecto de diseño de este canal fue encomendado al Instituto Nacional del Agua (INA). De toda el área que atraviesa el canal se prestará especial importancia al conjunto de lagunas interconectadas entre sí llamadas La Barrancosa, La Larga, Tuerto Venado, La Infinita, Martín García y Los Patos, ya que le otorgan al sistema hídrico una gran capacidad de almacenamiento y amortiguación de los excedentes hídricos. (Subsecretaría de Recursos Hídricos, INA, 2004).

Este trabajo forma parte de las diversas tareas encaradas por el INA en la etapa de prediseño del proyecto de construcción del citado canal de descarga y para la evaluación de su impacto económico en la región.

2. OBJETIVOS

1-Cuantificar y evaluar la variación de la cobertura hídrica de los siguientes cuerpos de agua entre las fechas febrero, abril, junio, septiembre y noviembre del año 2001:

1.1-Cuerpos de agua de la totalidad de la cuenca de la laguna La Picasa.

1.2-Cuerpos de agua de las subcuencas La Picasa-Los Patos, Los Patos-Quirno, Quirno-Juncal y Las Encadenadas.

1.3-Cuerpos de agua de las micro cuencas definidas dentro de la subcuenca Los Patos-Quirno.

1.4-Cuerpos de agua de las lagunas La Barrancosa, La Larga, Tuerto Venado, La Infinita, Martín García y Los Patos.

2-Integrar la información generada en un Sistema de Información Geográfica para aportar datos que permitan contrastar y ajustar los resultados obtenidos con el Modelo de Simulación Hidrológica Continuo (HEC-HMS) utilizado por el CRL.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

El área de estudio fue definida por el Centro Regional Litoral (CRL) del INA en base al análisis de curvas de nivel cedidas por la Dirección de Geodesia de la provincia de Santa Fe, encontrándose al este de la laguna La Picasa, al

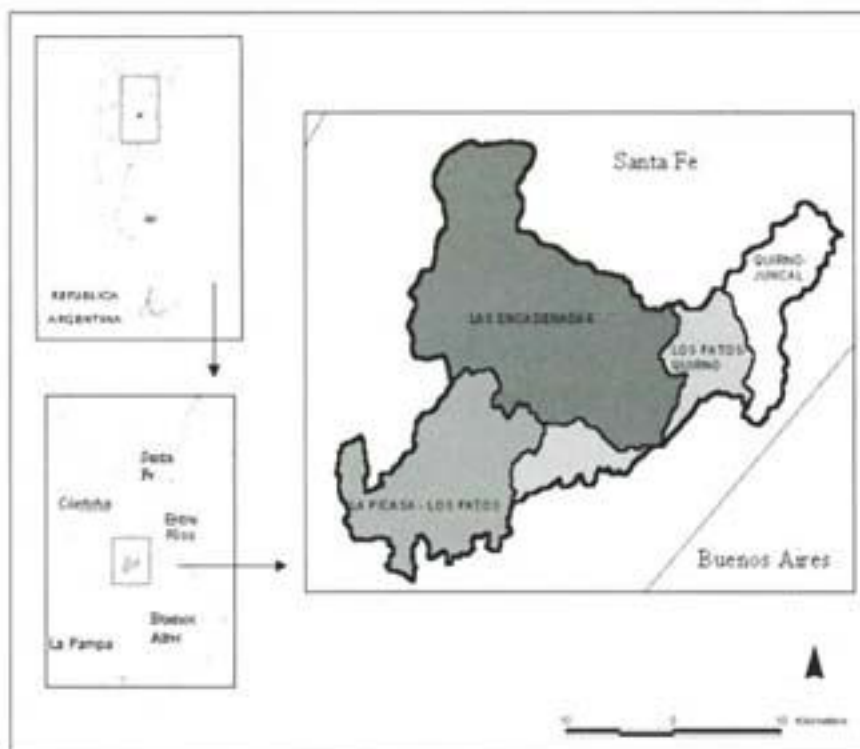


Figura 1: Ubicación geográfica de la cuenca de la laguna La Pícala y detalle de sus subcuencas

norte del límite con la provincia de Buenos Aires, al sur de la localidad de Venado Tuerto y al oeste de las nacientes del arroyo del Medio. Para su análisis la cuenca fue subdividida en cuatro subcuencas: La Pícala-Los Patos, Los Patos-Quirino, Quirino-Juncal y Las Encadenadas (Figura 1).

La subcuenca La Pícala-Los Patos fue a su vez dividida en treinta y dos microcuencas (Figura 2).

3.2 Información utilizada

El estudio se llevó a cabo utilizando imágenes satelitales Landsat TM (cedidas gratuitamente, para su uso en emergencias, por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales, CONAE), path 227, row 084 de las fechas 12 de febrero, 1° de abril, 20 de junio, 8 de septiembre y 11 de noviembre de 2001. El año 2001 fue elegido por ser un año en el cual se registraron 1412 mm de lluvia sobre un estado de alta saturación antecedente. Las fechas de las imágenes fueron elegidas en función de la ausencia de nubes que permiten su correcta visualización y procesamiento.

3.3 Metodología de procesamiento

El procesamiento de las imágenes se inició transformando los contajes digitales (DN) de cada



Figura 2: Detalle de las microcuencas de la subcuenca La Pícala-Los Patos.

banda de las imágenes TM a radiancia a partir de los coeficientes de calibrado correspondientes, suministrados en cada imagen. La ecuación lineal aplicada para obtener la radiancia es:

$$L^k [mW / sr.cm^2] = \left(\frac{L^k_{max} - L^k_{min}}{DN_{max}} \right) \bullet DN^k + L^k_{min}$$

donde:

k: número de banda (k: 1, 2, 3, 4 ó 5)

DN_{max}: valor digital máximo (254)

L^k_{max}: radiancia correspondiente a DN^k = DN_{max},
para k: 1...5

L^k_{min}: radiancia correspondiente a DN^k = 0, para k:
1...5

Posteriormente se transformaron los valores de radiancia (L₀(λ)) en reflectividad (R_a(λ)) a nivel del sensor (reflectividad a tope de atmósfera). Para la transformación se aplicó la siguiente expresión:

$$R_a(\lambda) = \frac{\pi d L_{0(\lambda)}}{E_{0(\lambda)} \cos \theta}$$

donde:

L: reflectividad en la longitud de onda considerada (adimensional, entre 0 y 1),

d: distancia de la Tierra al Sol, en unidades astronómicas,

E₀: irradiancia exoatmosférica,

θ: ángulo cenital

En segundo lugar se realizó la corrección atmosférica aplicando el modelo de corrección del histograma por valores mínimos (Chávez, 1988). Este algoritmo propone la estimación de la influencia de la atmósfera a través de un cálculo que se hace directamente sobre la imagen para la determinación de la radiancia medida por el sensor sobre áreas oscuras. Esas áreas oscuras en teoría deberían ser negras (≈0 por ciento de reflectancia) pero a causa de la dispersión atmosférica los correspondientes píxeles presentan un nivel digital distinto de cero. Bajo estas hipótesis sólo una dispersión simple puede ser removida.

Operacionalmente, la selección del nivel digital mínimo apropiado para la implementación de la corrección puede ser obtenido por el histograma de frecuencias de la imagen digital (Chávez, 1996).

Este algoritmo apunta principalmente al análisis de las bandas del espectro visible donde usualmente hay un marcado aumento en el número de píxeles con valor distinto de cero, es decir, en escala de grises. La determinación del valor digital mínimo para una banda en particular se basa en la hipótesis que asume el método en el hecho de que existe

una alta probabilidad de que por lo menos algunos píxeles dentro de una imagen sean negros. Esas superficies oscuras pueden corresponder a (1) áreas sombreadas por nubes o efectos topográficos (baja reflectancia en todas las bandas), (2) cuerpos húmedos (baja reflectancia en las longitudes de onda roja e infrarrojas), (3) áreas con densa vegetación como bosques de coníferas (muy baja reflectancia en la regiones del azul y rojo del espectro electromagnético) y (4) superficies con combinaciones de algunos de los factores anteriores (Kaufman y Sendra, 1988).

La siguiente ecuación define el nivel de salida en la posición *i,j* para la banda k, DN^k_{*i,j*} como el nivel digital original DN_{*i,j*} menos nivel digital mínimo para la misma banda k, DN_{min(k)}:

$$DN^k_{i,j} = DN_{i,j} - DN_{min(k)}$$

Este método fue utilizado por la ventaja de requerir sólo información contenida en la propia imagen. Se ha optado por este método ya que no se dispone de perfiles atmosféricos para la zona.

Finalmente se corrigió geométricamente la escena, llevando su georreferencia al sistema Gauss-Krüger, faja 5 (datum WGS84) mediante el método del "Vecino más Próximo", ya que es el que menos modificaciones ocasiona al valor de reflectancia del píxel original. Se diseñó un modelo de procesamiento de imágenes satelitales (modeler) conteniendo dos índices calculados a partir de la reflectividad en diferentes bandas: NDVI y un índice de color/saturación, más la banda azul, arrojando como resultado una imagen de tres bandas para su respectiva clasificación. Para la selección de píxeles se utilizó un método de clasificación híbrido o mixto (no supervisado / supervisado). Tal como se indicó, este método no supervisado no implica conocimientos previos del área de estudio, de modo que la intervención del investigador se orienta hacia la interpretación de los resultados; por tanto, en esta estrategia se asume que los DN de la imagen forman una serie de grupos o conglomerados (clusters) de relativa nitidez según sea el caso. Se seleccionaron entre 70 y 80 números de clusters para una adecuada representación de la información. Estos clusters o estos grupos de píxeles son equivalentes en términos de su comportamiento espectral más bien homogéneo y, por tanto, definen clases temáticas de interés homogéneos. Estas forman parte de las muestras de entrenamiento del método supervisado. Se propone el método mixto / híbrido, ya que el método supervisado puede

resultar a veces demasiado subjetivo y el no supervisado puede carecer de significado físico real (Schowengerdt, 1997). Se efectuó un mapa temático, con dos clases temáticas, agua superficial y encharcamiento, sobre el cual se realizó un proceso de enmascarar (recode) para seleccionar solamente la clase de agua superficial.

Se generaron cinco mapas multitemporales fusionando los mapas temáticos de clase agua de dos y tres fechas: febrero-abril, junio-septiembre, septiembre-noviembre, febrero-abril-junio, junio-septiembre-noviembre para la cuenca total. Sobre la imagen final de cada fecha se efectuaron 37 cortes correspondientes a las subcuencas y micro cuencas y se cuantificaron todos los cuerpos de agua presentes en hectáreas.

Se digitalizaron y cuantificaron las coberturas hídricas en hectáreas de las lagunas La Barrancosa, La Larga, Tuerto Venado, La Infinita, Martín García y Los Patos, ubicadas en la subcuenca La Picasa-Los Patos. Se elaboró un mapa para cada fecha comparando la superficie de todas las lagunas y un mapa por cada laguna comparada a través de todas las fechas.

Los datos obtenidos fueron integrados en un sistema de información geográfica para ser usados como información para calibrar el Modelo de Simulación Hidrológica Continuo (HEC-HMS).

Para el procesamiento de las imágenes se utilizó el programa ERDAS (ERDAS) y para la digitalización de las cuencas y cuerpos de agua el programa ARCVIEW (ESRI), ambos en un ambiente Windows PC.

4. RESULTADOS OBTENIDOS

Se elaboraron tres Tablas con los datos de superficies obtenidos y un total de 42 mapas para facilitar la visualización e interpretación de los datos.

Se obtuvieron cinco mapas multitemporales de la cuenca total de la clase temática agua de dos y tres fechas: febrero-abril, junio-septiembre, septiembre-noviembre, febrero-abril-junio y junio-septiembre-noviembre de 2001 (ver ejemplo en Figura 3).

Se obtuvieron 37 mapas multitemporales de las mismas dos y tres fechas y de la clase temática agua, de las 4 subcuencas y de las 33 microcuencas (ver ejemplo en Figuras 4 y 5).

Se obtuvieron cinco mapas de la clase temática agua de las siguientes fechas: febrero, abril, junio, septiembre y noviembre de 2001 con el detalle de las lagunas La Barrancosa, La Larga, Tuerto Venado, La Infinita, Martín García y Los Patos, ubicadas en la subcuenca La Picasa-Los Patos, así como 1 mapa multitemporal de las 5 fechas juntas para cada laguna, siendo un total de seis (ver ejemplo en Figura 6).

Se presentan las Tablas con los resultados de los cálculos de superficies de los cuerpos de agua de la cuenca total y de las cuatro subcuencas (Tabla 1), de las treinta y dos micro cuencas (Tabla 2) y para las lagunas La Barrancosa, La Larga, Tuerto Venado, La Infinita, Martín García y Los Patos (Tabla 3) para las fechas analizadas (febrero, abril, junio, septiembre y noviembre del 2001).

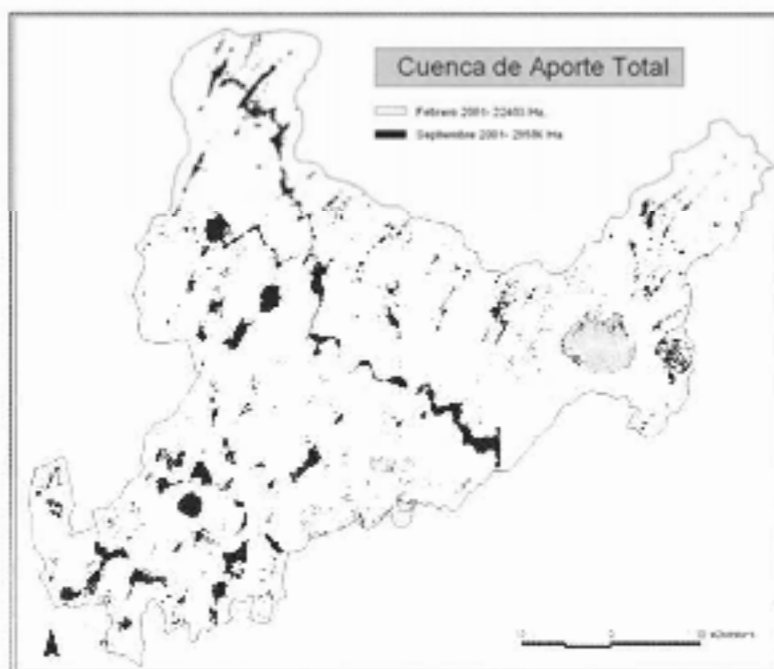


Figura 3: Mapa multitemporal de la cuenca total para febrero y septiembre de 2001.

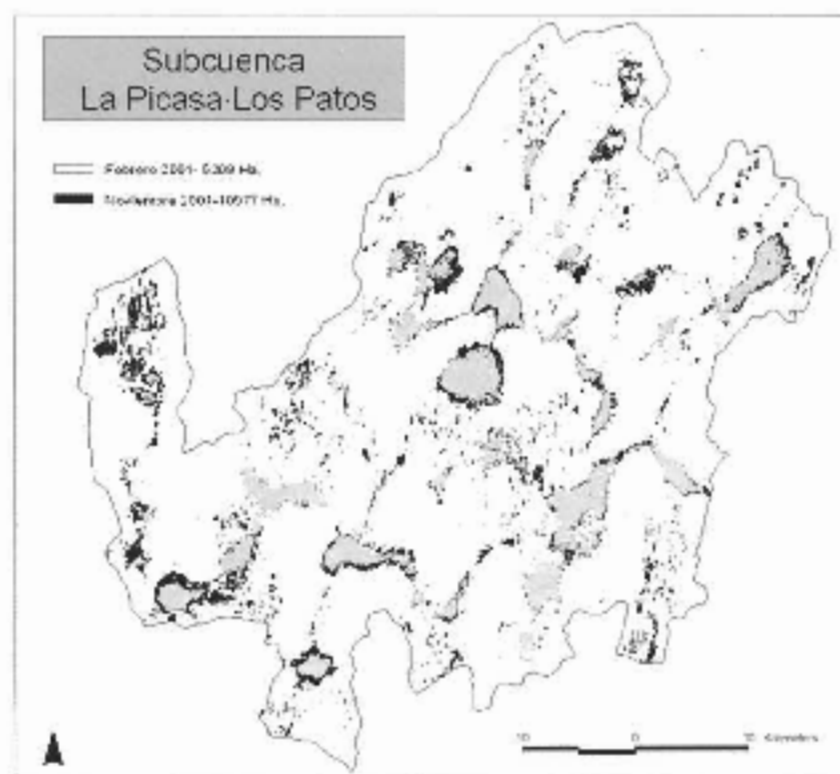


Figura 4 : Mapa multitemporal de la subcuenca La Picasa-Los Patos para febrero y noviembre de 2001.

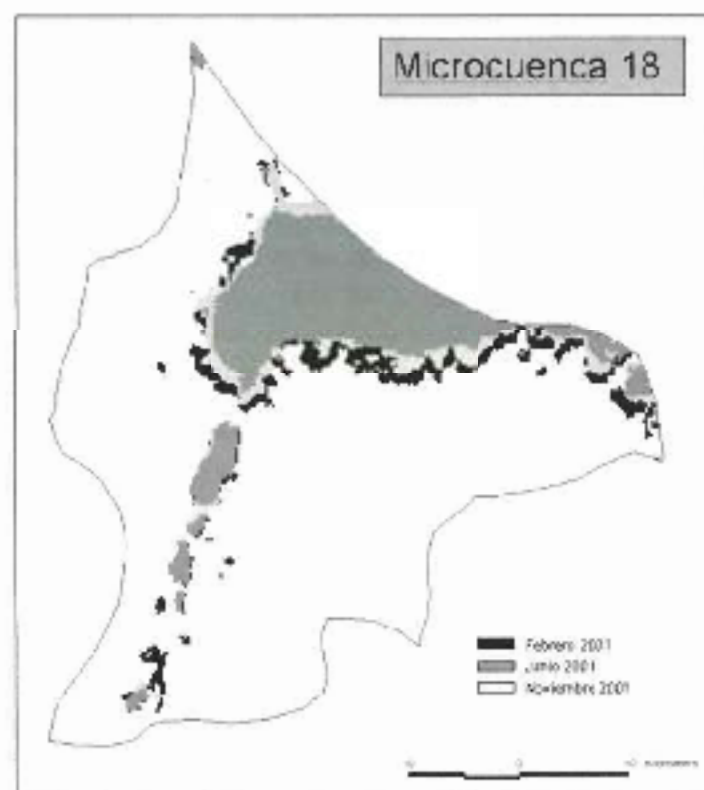


Figura 5: Mapa multitemporal de la microcuenca 18 para febrero, junio y noviembre de 2001

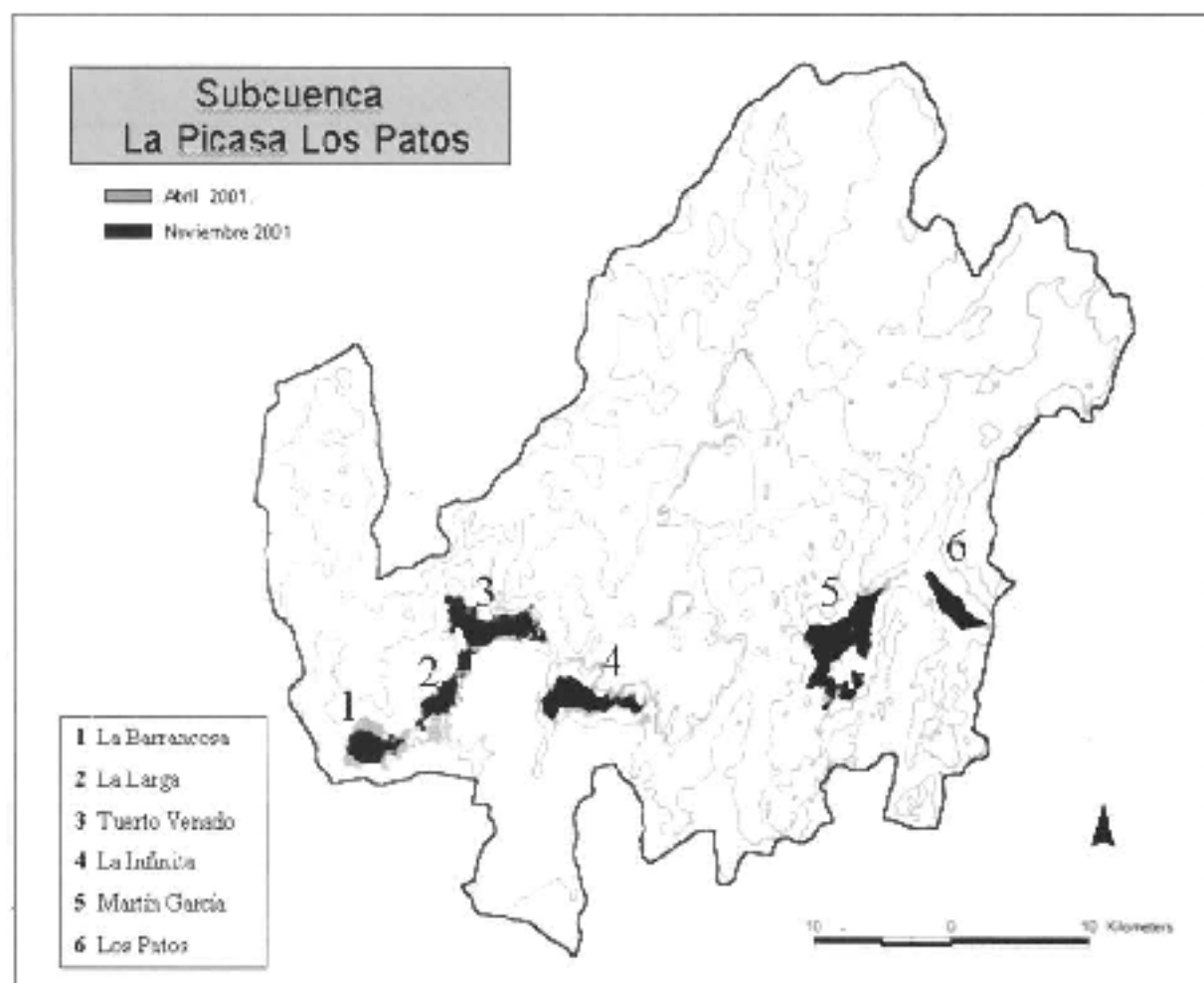


Figura 6: Mapa multitemporal de las lagunas seleccionadas para abril y noviembre de 2001.

Tabla 1: Superficie de los cuerpos de agua de la cuenca total y las subcuencas medidas en hectáreas. "S/D": sin dato.

Superficie de los cuerpos de agua de la cuenca total y las subcuencas					
(Valores en hectáreas)	FEBRERO	ABRIL	JUNIO	SEPTIEMBRE	NOVIEMBRE
CUENCA TOTAL	22.403	S/D	32.592	29.586	37.608
LA PICASA-LOS PATOS	5.973	7.336	S/D	8.069	10.976
LOS PATOS-QUIRNO	5.948	7.674	8.252	7.974	9.198
QUIRNO-JUNCAL	1.373	2.358	2.198	2.090	2.570
LAS ENCADENADAS	9.107	14.282	13.644	11.451	14.859

Tabla 2: Sup. de los cuerpos de agua de las micro cuencas medidas en ha. S/D: sin dato.

Superficie de los cuerpos de agua de las micro cuencas					
(Valores en hectáreas)	FEBRERO	ABRIL	JUNIO	SEPTIEMBRE	NOVIEMBRE
1	76	168	387	376	682
2	15	40	94	76	202
3	39	55	68	69	98
4	479	600	691	674	846
5	96	175	243	216	S/D
6	128	153	194	198	32
7	135	137	135	127	100
8	43	160	173	137	346
9	442	581	632	575	706
10	96	176	243	216	237
11	1	15	17	5	31
12	0	10	9	1	55
13	102	133	191	146	280
14	604	640	683	683	862
15	161	236	213	180	248
16	204	275	388	405	556
17	463	542	649	611	725
18	252	270	362	373	400
19	305	388	382	389	452
20	2	5	14	10	62
21	68	77	92	78	147
22	72	102	152	151	169
23	45	49	54	49	81
24	16	17	17	20	21
25	65	71	99	95	163
26	378	408	453	466	527
27	130	184	177	171	225
28	182	193	192	176	231
29	57	70	82	89	135
30	21	24	31	29	103
31	426	462	458	423	543
32	623	790	791	703	1049
33	358	370	383	369	379

Tabla 3: Superficie de los cuerpos de agua de las lagunas La Barrancosa, La Larga, Tuerto Venado, La Infinita, Martín García y Los Patos medidas en hectáreas.

Superficie de los cuerpos de agua de las lagunas					
(Valores en hectáreas)	FEBRERO	ABRIL	JUNIO	SEPTIEMBRE	NOVIEMBRE
<i>La Barrancosa</i>	181,26	217,26	271,44	304,92	404,82
<i>La Larga</i>	164,07	181,58	304,20	319,59	288,77
<i>Tuerto Venado</i>	489,33	516,51	533,25	518,49	485,99
<i>La Infinita</i>	308,25	353,43	423,72	436,86	615,16
<i>Martín García</i>	634,05	645,53	685,71	549,98	829,08
<i>Los Patos</i>	201,57	209,16	209,88	202,95	242,55

Aplicación del modelo hidrodinámico ISIS Flow

A modo de reproducir el comportamiento hidrológico - hidráulico del tramo laguna La Picasa - laguna Los Patos en el año hidrológico extremo 2001, se implementó el modelo hidrodinámico ISIS Flow al sistema Laguna La Picasa Laguna Los Patos Laguna El Chañar, utilizando la información topográfica de perfiles transversales conforme a obra del canal construido y del camino vecinal a la salida de la laguna Los Patos, relevados en el año 1999/2000 por la Dirección Provincial de Obras Hidráulicas.

Se simuló el comportamiento hidrológico del canal en el año 2001 y se compararon los resultados obtenidos con aforos realizados por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, aguas abajo de la sección de la Laguna de Los Patos. Los resultados estimados de la modelación fueron menores a los observados. Debe agregarse al caudal calculado, el caudal ingresado en el tramo Los Patos Sección de Aforo.

También se utilizó para contrastar los resultados obtenidos del sistema modelado, las áreas cubiertas por inundación en cada laguna a partir de la información procesada de imágenes satelitales tomadas los días 12/02, 01/04, 20/06, 08/09 y 11/11 del año 2001 (Tabla 4).

Se aplicó el modelo hidrodinámico a dicho año

hidrológico extremo y se determinaron los niveles alcanzados en las fechas indicadas en las imágenes. A partir de dichos niveles se calcularon las áreas de cada laguna, asociadas a los niveles y se compararon con los resultados obtenidos de las imágenes. Las áreas asociadas a los niveles de las diferentes lagunas fueron calculadas a partir de las curvas de nivel de las planchetas IGM que tienen una equidistancia de 2.50 m y de los perfiles medidos de los relevamientos topográficos mencionados anteriormente. Estos perfiles corresponden aproximadamente a tres por laguna y su ubicación planimétrica fue ajustada en forma aproximada, dado que sus coordenadas planimétricas planas se encuentran en Campo Inchauspe, distinta a la faja a la usada por el proyecto.

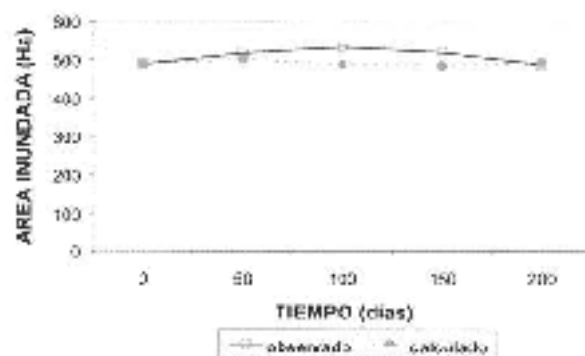
A partir de esta calibración aproximada y comparando los resultados obtenidos de las imágenes satelitales, puede observarse en la Tabla siguiente que se obtiene una aproximación razonable para los diferentes niveles de las lagunas y en los períodos de estiaje.

A continuación se muestra en la Figura 7 la variación temporal de las áreas inundadas de cada laguna (Tuerto Venado, La infinita, Martín García y Los Patos) de acuerdo a los resultados observados y calculados por el modelo, con datos del año 2001.

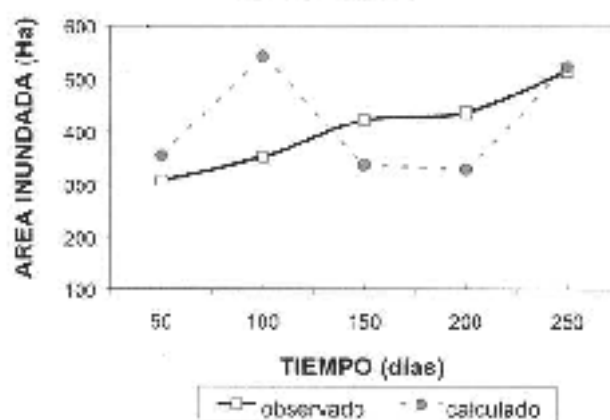
Tabla 4: Comparación entre datos observados y calculados en el modelo hidrodinámico ISIS Flow.
* D/O: Dato observado en imagen satelital, D/C: dato calculado en el modelo.

Nombre laguna Año 2001	Fecha		Fecha		Fecha		Fecha		Fecha	
	12-ene		1-abr		20-jun		8-sep		11-nov	
	Área (Ha)	Área (Ha)	Área (Ha)	Área (Ha)	Área (Ha)	Área (Ha)	Área (Ha)	Área (Ha)	Área (Ha)	Área (Ha)
	D/O *	D/C *	D/O	D/C	D/O	D/C	D/O	D/C	D/O	D/C
Tuerto Venado	489.33	488	516.51	500.56	533.25	488	518.49	483.5	486.99	493.03
La Infinita	308.25	355.57	353.43	544.01	423.72	336.4	438.86	329.71	515.16	524.32
Martín García	634.05	614.53	685.53	682.37	685.71	614.48	649.98	614.42	829.08	715.83
Los Patos	204.57	233.93	209.16	268.27	209.88	231.07	202.95	208.18	242.55	331.55

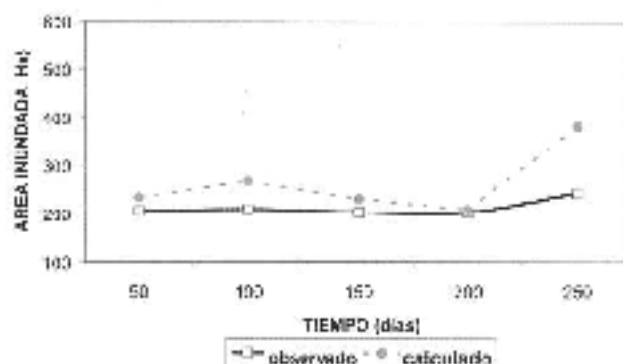
TUERTO VENADO



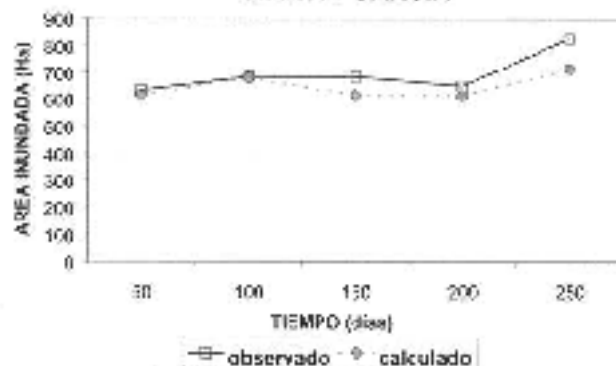
LA INFINITA



LOS PATOS



MARTIN GARCIA



Variación Temporal de las áreas inundadas en las diferentes lagunas

5. CONCLUSIONES

Los valores de superficie hídrica para la cuenca total aumentaron en el período considerado desde 22.403 ha hasta 37.608, (67,87%), registrándose un cambio en la tendencia en el mes de septiembre.

En las cuatro subcuencas analizadas también se registraron aumentos finales, pero las tendencias del cambio y los valores porcentuales variaron entre ellas. Para la Picasa-Los Patos el cambio fue de un 83,76% y la tendencia fue siempre en aumento si bien no se contó con información para el mes de junio. La subcuenca Los Patos-Quirno presentó aumentos y disminuciones alternativas entre los meses analizados y el porcentaje de aumento final fue del orden del 54,64%. Quirno Juncal y Las Encadenadas mostraron una tendencia similar que registró disminuciones en los meses de junio y septiembre y valores porcentuales de aumento de 87,18% y 63,16% respectivamente.

De las treinta y dos micro cuencas analizadas solo dos (6 y 7) registraron valores menores a los iniciales, 128 ha a 32 ha y 135 ha a 100 ha, respectivamente.

De las treinta y un restantes, diecinueve de ellas presentaron una disminución de su valor de superficie en el mes de septiembre. Esto podría deberse posiblemente a como se distribuyeron las lluvias precipitadas en el área.

Para las seis lagunas analizadas en particular también se registraron aumentos en sus valores finales excepto para Tuerto Venado que disminuyó sensiblemente su superficie, pasando a ocupar de 489,33 ha a 486,99 ha. La Barrancosa aumentó su superficie un 23,33%, La Larga un 75,97%, La Infinita un 99,56% y Los Patos un 18,56%, registrando esta última una leve disminución de superficie para el mes de junio.

La utilización de estos datos para el ajuste del modelo hidrológico utilizado resultó ampliamente satisfactorio, constituyendo esto un antecedente para futura aplicaciones.

El uso de información satelital permitió recuperar información que de otro modo no se hubiera obtenido ya que no se contaba con registros de campo de las coberturas hídricas para las fechas de interés. La elaboración de mapas multitemporales permite efectuar comparaciones rápidas y

precisas y hacer un análisis de los cambios registrados.

La metodología utilizada en el procesamiento de la información es de uso generalizado, no obstante, su integración y aplicación a un proyecto de diseño de una medida estructural, como lo es la obra de canalización de la descarga de la laguna La Picasa hacia el río Paraná es de gran actualidad y reviste pocos antecedentes en el país.

6. BIBLIOGRAFÍA

Baccaglio, M.C., R. Seifer, G. Tegedor. 2003. Estudios cartográficos en la cuenca de la Laguna La Picasa. Primer Congreso de la Ciencia Cartográfica y VIII Semana Nacional de Cartografía. Buenos Aires.

Chávez, P. S. 1988. "An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data". *Remote Sensing of Environment*, 24: 459- 479.

Chávez, P.S., Jr., 1996, "Image-based atmospheric corrections revisited and revised". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 62(9):1025-1036.

Kaufman, Y. J. and C. Sendra, 1988, "Algorithm for automatic atmospheric corrections to visible and near-IR imagery" *Int. J. Remote Sensing*, vol. 9 (8), pp. 1357-1381.

Ministerio de Obras, Servicios Públicos y Vivienda de Santa Fe 2001. Causas y daños en los anegamientos en la cuenca de la laguna La Picasa y acciones encaradas desde del Poder Ejecutivo Provincia:

<http://www.santafe.gov.ar/mospvyv/index.html>

Schowengerdt, R. A., 1997. *Remote Sensing. Models and methods for image Processing*. Academic Press. Segunda Edición. USA.

Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación. Instituto Nacional del Agua, 2004 Proyecto de descarga de la laguna La Picasa al río Paraná. Informe Final. IV Estudios Hidrológicos. Responsable Técnico: Ing. Carlos Paoli.

Tchilinguirian, P., D. Azcurra, M. Kaku, G. Candosa. 2003. Aplicación de imágenes satelitales Aster en zonas inundadas, laguna Picasa, provincia de Santa Fe. Primer Congreso de la Ciencia Cartográfica y VIII Semana Nacional de Cartografía. Buenos Aires.

Evaluación de la precisión en la ortorectificación de imágenes del satélite IKONOS en el área urbana de Caracas

Víctor Guevara, Aimara Reyes, Ramiro Salcedo, Alejandro Ruiz y Wuilian Torres

victorg@fii.org; aimara@fii.org; ramiros@fii.org; wtorres@fii.org

Centro de Procesamiento Digital de Imágenes (CPDI) Fundación Instituto de Ingeniería (FII) Ministerio de Ciencias y Tecnología (MCT)

Teléfono: (58212) 903 46 10; Fax: (58212) 903 47 80; Caracas, Venezuela

RESUMEN

El presente trabajo plantea una metodología para evaluar la precisión de la ortorectificación de imágenes IKONOS (GEO, pan sharpened) de una zona urbana de Caracas. Esta metodología consistirá en ortorectificar la imagen original al Datum local de la Canoa (PSAD56), usando 50 puntos de control obtenidos de mediciones Diferenciales GPS (DGPS) y un DEM obtenido a partir de las curvas de nivel de las cartas topográficas a escala 1:100.000 del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB).

SUMMARY

The present paper presents a methodology to assess the ortho-rectification accuracy performed on IKONOS 1 meter pan-sharpened data collected over the north-western sector of Caracas city. This methodology consisted of re-projecting the original image to the local datum of La Canoa (PSAD 56), then, to apply a set of 50 ground control points (GCP's) obtained by means of GPS differential observations (DGPS), as well as a 20 m DEM obtained from contour lines from existing topographic charts at the scale of 1:100.000, produced by the Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB).

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo consistió en plantear y evaluar la precisión de una metodología para la ortocorrección de imágenes del satélite IKONOS en una zona Urbana de Caracas.

La metodología de ortorectificación de imágenes IKONOS que se ha utilizado en el Centro de Procesamiento Digital (CPDI) del Instituto de Ingeniería (FII) se basa en la elaboración de Modelos Digitales de Elevaciones (DEM) obtenidos de mapas topográficos a escala 1:1.000 y 1:5.000, complementados con puntos de control. Esto plantea serias restricciones para la ortorectificación de imágenes IKONOS en aquellas zonas donde no se disponga

de cartografía a estas escalas.

Por esto se consideró el estudio de otra metodología para ortocorregir imágenes de satélites de alta resolución espacial (1 m y 4 m).

La metodología usada en el presente trabajo evaluó la precisión de la ortorectificación de imágenes IKONOS de 1m (GEO, pan sharpened) de una zona urbana de Caracas. Esta consistió en re-proyectar la imagen original al datum local de la Canoa (PSAD56), usando 50 puntos de control obtenidos de mediciones Diferenciales GPS (DGPS) y un DEM obtenido a partir de las curvas de nivel de las cartas topográficas a escala 1:100.000 del IGVSB.

Se procesó la imagen IKONOS usando el software OrthoEngine versión 7.0, este utiliza el modelo desarrollado por el Dr. Thierry Toutin del Canadian Centre for Remote Sensing (CCRS), Natural Resources Canada (Toutin and Cheng, 2000).

Para evaluar las precisiones de la técnica utilizada, se desarrolló el estudio en una subescena de la imagen que comprende la zona Norte-Oeste y Norte-Centro de Caracas con un área de 1.170 Hectáreas y con alturas entre 890 y 1.200 msnmm (Figura 5). También se evaluó la influencia de la cercanía de áreas montañosas, cuando se usa el modelo de ortocorrección.

Los resultados se evaluaron correlacionándolos con los puntos de chequeo GPS, con los ortofomaps del Proyecto Cartocentro del IGVSB, así como con el producto ortocorregido con los mapas 1:1.000 y 1:5.000 en el CPDI (Ruiz, 2000).

2. ANTECEDENTES

Atkinson y Smith (2001) demostraron que los puntos de control terrestres (GCPs) originados de la campaña DGPS tienden a una mejor precisión en la rectificación de imágenes SPOT y TM que aquellos derivados de mapas topográficos (medidos por el RMS), concluyendo que la precisión de la rectificación depende de la precisión de los puntos de control GCPs.

Gerlach (2001) plantea que la elevación del sol y la inclinación del satélite sobre las diferentes

zonas de la escena tienden a crear variaciones en el contraste de la imagen cuando se trata de escenas pancromáticas sobre ciudades, porque se realzan las sombras producidas por el sol y las zonas no vistas por el sensor, las cuales tienden a hacer que se pierdan detalles sobre el terreno.

Main (2000) recomienda que la escogencia de los GCPs con alta calidad de reconocimiento en la imagen es de vital importancia para ubicar estos con alta precisión. Se sugiere la toma de puntos por ejemplo sobre la superficie asfáltica pintada, intersecciones de caminerías o en la "T" de una cancha de tenis. También se recomienda para obtener productos a escala 1:4.800 un RMS de 1,9 píxeles. Además define un alto nivel de mediciones para la campaña GPS, en la cual, se deben obtener precisiones de 0,7 m en planimetría y 1,5 m en altimetría. También recomienda que por cada 10 Km de área se deben usar como mínimo 10 puntos de control GPS.

Ganas, et al (2.001) realizó un trabajo en los suburbios de Atenas-Grecia que consistió en ortorectificar imágenes IKONOS GEO pancromáticas en un área plana, con variaciones entre los 70 y 250 m, donde se usaron 17 puntos de control obtenidos de una campaña GPS diferencial y un DEM a 20 m obtenidos de los mapas topográficos de Grecia a escala 1:50.000, generando un error cuadrático medio (RMS) de 0,6 píxeles y el mismo error para los puntos de verificación desde 15,97 píxeles a 0,9 píxeles.

Dial (2.000) concluye con la experiencia de los mapas hechos desde fotografías aéreas que existe una constante en la resolución de la imagen, y la escala y precisión de los mapas. Se sugiere una precisión horizontal para ciertas escalas: Para mapas a escala 1:2.400 el radio de error en el 90% de la escena no debe ser mayor a 2,0 m (CE90 de 2,0 m) y a escala 1:4.800 el CE90 debería ser de 4,1 m. Para la primera, Corbley (2.000) sugiere una precisión de 3 m en altimetría para los puntos de control terrestre.

IKONOS

El satélite IKONOS puesto en órbita el 24 de septiembre de 1.999 por la empresa Space Imaging Inc. Es el primer satélite comercial que ofrece imágenes de alta resolución espacial de 1 m en modo pancromático y 4 m en el multiespectral, con vista fuera del nadir de hasta 50 hacia cualquier dirección del azimut, permitiendo observar una misma área cada 2 o 3 días. IKONOS orbita la tierra cada 98 minutos a una altitud aproximada de 400 millas. Con IKONOS se obtienen imágenes a 11 bits (2048 niveles de grises) lo cual genera un rango de información muy detallado. Space Imaging comercializa productos

con rango de precisión de 4, 10, 12, 25 y 50 m (CE90) del área de las imágenes no incluyendo así los efectos topográficos.

PCI OrthoEngine

Este software comercial usa el modelo desarrollado por el Dr. Thierry Toutin del Canadian Center for Remote Sensing (CCRS), el cual fue probado usando otros dos métodos adicionales que son el método polinomial y racional polinomial. El primero sólo corrige distorsiones planimétricas básicas y el segundo involucra la altura de los puntos de control para rectificar la imagen. Estos últimos no requieren información del sensor ni del satélite. En cambio, el método que involucra el modelo a utilizarse refleja la realidad física desde el punto de vista geométrico y corrige las deformaciones producidas por la plataforma, el sensor, la Tierra y algunas deformaciones producidas por la proyección cartográfica. O sea, este último método considera la información del satélite y del sensor para ortorectificación.

La funcionalidad del software fue comprobada en una localidad de Toronto, Canadá con elevaciones comprendidas entre los 180 y 240 m. Allí fueron colectados 30 puntos de control distribuidos uniformemente sobre la imagen obtenidos de ortofotos con 20 cm de precisión y un DEM a 2 m. Obteniendo de la ortorectificación un RMS de 1,3 m y un error máximo de 3,0 m. (Toutin, 2.000).

3. LA METODOLOGÍA

Imagen IKONOS

Las imágenes IKONOS (GEO, pan sharpened) utilizadas en este proyecto fueron adquiridas por el CPDI en el marco de un proyecto contratado por el Consejo Nacional de la Vivienda (CONAVI), para la evaluación de daños producidos como consecuencia de las lluvias excepcionales ocurridas en Diciembre de 1999. La escena cubre desde el sector Gramoven al oeste, hasta el Country Club al este de la ciudad de Caracas, y desde el 23 de enero por el sur, hasta Galipán al Norte (véase Figura 1). La topografía en el valle de Caracas varía desde los 890 m hasta los 1.200 m y en la zona montañosa sobrepasa los 2.000 msnm. El tipo de uso en la zona urbana comprende desde zonas residenciales unifamiliares de baja densidad hasta multifamiliares de alta densidad alternando con zonas comerciales y administrativas.

La imagen IKONOS fue adquirida el 18 de febrero de 2.000. El producto ha sido adquirido en formato GEO (pan sharpened) en proyección UTM 19, datum WGS84 con una precisión nominal de 50 m (CE90). Para la ortorectificación de la imagen

se usaron 50 puntos de control obtenidos por la técnica Diferencial GPS, un DEM con un tamaño del píxel de 20 m y el software PCI OrthoEngine.

Se evaluó la precisión de la ortorectificación de la imagen IKONOS sobre un área urbana seleccionándose una subescena en la cual se muestra la distribución de los puntos de control (véase Figura 5) que comprende desde las inmediaciones del Parque del Oeste en Catia hasta el Colegio La Salle al Este de la imagen IKONOS, para un total de 28 puntos de control y 5 puntos de chequeo sobre el área de estudio.



Figura 1. Imagen IKONOS no ortocorregida, donde se representa hacia el sur, la zona Urbana de Caracas y al Norte el Parque Nacional El Ávila. Los GCPs están representados en Rojo y los de Chequeo en Cyan.

Mediciones GPS

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) está basado en la transmisión de información desde una constelación de satélites hasta los receptores GPS que están sobre la superficie terrestre. La red del sistema GPS está dispuesta de tal forma que un receptor sobre la superficie terrestre puede captar un mínimo de 4 satélites en cualquier momento del día y en cualquier parte de la superficie terrestre. Cada satélite describe órbitas circulares a 20.180 Km. de altura, con un período aproximado de 12 horas. Como la altura de los satélites equivale a tres veces el radio de la tierra, cada receptor está en capacidad de recibir la señal, por un período aproximado de 6 a 7 horas. El uso de dos receptores grabando simultáneamente y captando la señal de casi todos los satélites es una manera efectiva de disminuir el error y aumentar la precisión del posicionamiento.

En el presente trabajo fueron colectados 70 puntos GPS durante el mes de enero del 2.002. Las condiciones atmosféricas reinantes variaron entre nubladas y soleadas. Dos receptores GPS de uso

cartográfico fueron usados (GeoExplorer 3). Estos receptores garantizan precisiones de 20 cm captando datos en modo Fase y corrigiendo diferencialmente.

Previo a la Campaña GPS se definió como estación base el Instituto de Ingeniería (Illi), estableciendo sus Coordenadas Geodésicas a partir del punto IDEA de la Red GPS Metropolitana de Caracas de Orden C definida por el IGVSB. Mediante la técnica de recolección de datos en modo fase y el método de medición GPS Diferencial, se obtuvo así el punto Illi con coordenadas N 1.151.274,30, E 731.444,13 y 1.362,06 m sobre el elipsoide con precisiones de 20 cm en planimetría y de 20 cm en altimetría referidos a la proyección UTM 19 datum La Canoa. Se verificó la precisión de los puntos de control realizando mediciones diferenciales a dos puntos del IGVSB: el IDEA a 1,24 Km y AVILA a 15,38 Km del IGVSB obteniendo errores de 0,08 m en planimetría y de 0,03 m en altimetría, y de 0,06 m en planimetría y de 0,23 m en altimetría respectivamente ambos de la Red Metropolitana GPS de Caracas.

Previo a las mediciones GPS se realizó la escogencia de los puntos de control (GCP) y de verificación con alta calidad de reconocimiento en la imagen para que pudieran ser ubicados con la mejor precisión posible. (véase las Figuras 2, 3 y 4), evitando los lugares cubiertos por sombras producidas por edificaciones, así como las zonas no "vistas" por el sensor, las cuales impiden observar detalles de la imagen. Otro factor importante a considerar es evitar tomar puntos GPS donde se encuentren obstrucciones verticales, ya que disminuye la captura de la señal desde los satélites.



Figura 2: Punto de Control 304. Se puede observar la posición precisa y nítida del punto sobre la imagen, que representa la esquina de una caminería de arcilla (se muestra dentro del círculo amarillo).

Para todos los puntos de control se tomó la siguiente información: Número del punto, día, descripción del lugar, la hora de la captura, y la respectiva minuta de campo.

El procesamiento de los datos de la campaña GPS fué efectuado con el software GPS Pathfinder Office 2.80 de Trimble. De los 70 puntos ubicados sobre la escena, 50 son puntos de control GCPs y 20 son puntos de verificación. Se presenta la precisión estimada por el software en la Tabla 1, la cual es de 1,22 m en planimetría y de 2,15 m en altimetría.



Figura 3: Punto de Control 308. Plaza Candelaria. La marca oscura representa la estatua. La ubicación precisa del punto se observa en la esquina de una jardinera, notando la diferencia entre el jardín y el concreto.



Figura 4: Punto 307. Colegio La Salle. Punto sobre el lindero entre la cancha de Béisbol y la de Fútbol, y la Av. Boyacá.

Tabla 1: Precisión de los Puntos GPS. GCP puntos de control. GVP. Puntos de Verificación. Todos los puntos medidos.

	GCP		GVP		Todos	
	H (m)	V(m)	H (m)	V(m)	H (m)	V(m)
Max	1,77	3,56	1,70	3,29	1,77	3,56
Min	0,38	0,55	0,35	0,57	0,35	0,55
M. Prec	1,21	2,21	1,23	1,97	1,22	2,15

Las alturas elipsoidales (h) fueron transformadas a alturas ortométricas (H) usando el Modelo Geopotencial Global EGM96, con una precisión nominal de 0,5 m, desarrollado por el National Imaging Mapping Agency (NIMA), el cual, realiza una corrección a la Ondulación Geoidal (N), cuando se le introduce la altura elipsoidal al programa. (NIMA EGM96 Calculator Ver 1.1).

DEM (Digital Elevation Model)

El DEM utilizado fué producido a partir de las curvas de nivel con intervalos de 40 m de las cartas a escala 1:100.000 editadas por el IGVS. El modelo fué construido con un espaciamiento en la cuadrícula de cada 20 m para eliminar los errores de interpolación en la imagen con las curvas de nivel. Las características del DEM son las siguientes:

La precisión planimétrica en el 90% del área es de 50 m.

La precisión altimétrica es de 20 m en el 90% de los casos.

El operador digitaliza con un error de 0,1 mm llegando inciertamente a 10 m. para escalas 1:100.000.

En el proceso de interpolación para generar el DEM resultó difícil cuantificar la contribución del error, la cual fué estimada como irrelevante.

La topografía que caracteriza al sector del Valle de Caracas que comprende el área de estudio, está compuesta por pendientes medias a altas hacia el norte y noroeste, donde se localizan las faldas de la Serranía del Ávila. Esta tiende a ser más plana hacia el este, a medida que aumenta la distancia del pie de monte. Hacia el sur y suroeste, se localizan las colinas donde se emplaza la urbanización 23 de Enero, lo cual se traduce en pendientes medias a altas. Por otra parte, dentro del paisaje resaltan algunos quiebres de pendiente de gran relevancia como el Cañón de Tacagua y los cauces de las Quebradas Manicomio, Lídica y Catuche.

4. RESULTADOS

La imagen ortorectificada se puede observar en la Figura 5, y se resume en la Tabla 2. Donde con la ortorectificación se obtuvo un error RMS en X de 4,80 píxeles y en Y de 2,53 píxeles y al de los puntos de chequeo en X es de 27,69 píxeles y en Y de 12,06 píxeles.

Para mejorar la distribución espacial del error se seleccionaron los puntos de control con mayor precisión. Se escogió como técnica de replanteo del píxel el método bilineal, porque no se observaron distorsiones visibles de líneas a alta resolución. Se utilizó como datum la Canca.

Para la verificación de la imagen IKONOS ortorectificada, se utilizó: puntos de chequeo GPS, las imágenes ortocorregidas en el CPDI (Ruiz, 2.000) y los ortofotomapas (IGVSB).

Los Ortofotomapas del proyecto Cartocentro del IGVSB, levantado a un píxel de 2,5 m con una precisión planimétrica de 10 m (excelente correlación visual con los puntos GPSs en toda el área) con los que fueron usados como referencia para observar la relación existente con la imagen ortocorregida, donde había una coincidencia en la mayor parte de la zona de estudio (ver Figura 6), exceptuando al Este del sector Ruperto Lugo que se localiza en la zona Norte de Los Frailes (ver Figura 7) y una pequeña variación en la parte Sur de la imagen específicamente en la zona del 23 de Enero.

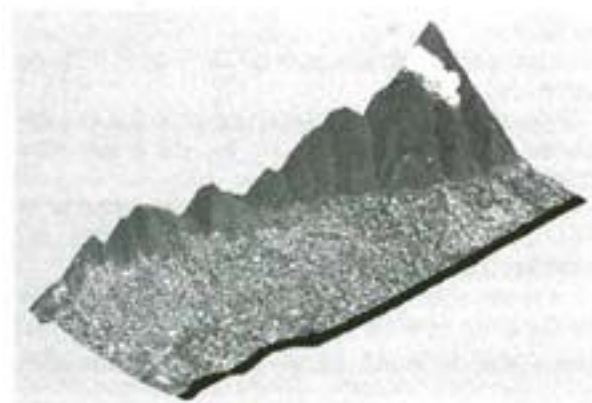


Figura 5: Imagen Ortocorregida representada sobre un Modelo Digital del Terreno.



Figura 6: Comparación entre la imagen Ortocorregida (Vista derecha) y los Ortofotomapas (vista izquierda).



Figura 7: Comparación entre la imagen Ortocorregida (Vista superior) y los Ortofotomapas (vista inferior).

Comparación con la imagen ortocorregida por el CPDI (2.000), con la imagen ortocorregida en este trabajo. (Ver Figura 8). En general se puede observar una buena correlación entre las dos imágenes ortocorregidas exceptuando en la zona Norte de Los Frailes como se mencionó anteriormente.



Figura 8: Comparación entre la imagen Ortocorregida en este trabajo (vista derecha) y Ortocorregida por el CPDI en el año 2.000 (vista izquierda).

Los puntos de Chequeo GPS fueron convertidos a una capa vector para luego ser correlacionados con las posiciones que deberían llevar originalmente, cuando fueron medidos. Mostrándose errores totalmente distintos a los dados por el RMS calculado por OrthoEngine. (véase la Tabla 2).

Tabla 2: Precisión de la Ortorectificación. Dif es la diferencia sobre la imagen corregida de los puntos de Chequeo. Prec DGPS es la precisión de la corrección diferencial. RMS Ortho es el error RMS de la Orto rectificación.

ID	Errores (m)		
	Dif	Prec. DGPS	RMS Ortho
005	2,04	1,42	25,05
013	1,72	1,12	32,01
109	2,16	1,67	21,19
007	16,76	1,10	11,26
302	17,09	0,38	16,43
La Salle	2,63	1,21	-
Hotel Ávila	1,98	1,74	-
San Bernadino	2,72	1,17	-

Análisis de Resultados

Para la ortocorrección de la imagen del área urbana de Caracas se presentó varias condiciones negativas, en cuanto a que la imagen no posee parámetros orbitales, tiene un ángulo de incidencia de la imagen de 50° y un DEM de baja resolución para esta zona por poseer una topografía variada.

Sin embargo, cuando se realizó la comparación visual de la imagen IKONOS con los Ortofotomapas del proyecto Cartocentro, en la cual se observó una buena similitud entre los elementos espaciales sobre casi toda la imagen, exceptuando la zona norte el sector llamado Los Frailes donde existen desplazamientos en dirección Norte y Este del orden de 15 m lineales aproximadamente. También existen desplazamientos hacia el sur de la imagen en la zona del Barrio Santa Clara, de aproximadamente 17 m. Si observamos la Figura 9, el DEM de la zona permite definir que hay cambios de pendiente en la topografía lo que definitivamente afecta la ortocorrección de la imagen.

Cuando se comparan los ortofotomapas y la imagen ortocorregida con la cartografía digital, se

observaron diferencias inferiores a los 2 metros debido a que en esta zona la topografía no presenta cambios bruscos de pendiente. Como sucede en las inmediaciones del Parque del Oeste en Catia, en el Barrio La Línea, Los Flores, Gato Negro, Lídice, Manicomio, algunas zonas del 23 de Enero, La Pastora, Altagracia, San José, La Candelaria, Maripérez, San Bernardino, Sarria, Guaicaipuro. A medida que se acerca al pie de monte del Parque Nacional el Ávila las diferencias se incrementan sobre todo en el área de Puerta de Caracas donde se identifican pequeñas deformaciones en dirección Este cuando se observan dos laderas, este fenómeno es muy visible en los barrios Macayapa y Resplandor, encontrándose estos sobre el parque nacional el Ávila.



Figura 9: DEM de la zona de estudio. Se observan los cambios de pendiente existentes en las zonas problema, que se presentan en la parte inferior y superior izquierda de la imagen.

En cuanto a los puntos de chequeo el 005 y 013, el primero ubicado en la calle principal de Mirador y el segundo en los altos de Lídice. Estos poseen diferencias que están en el orden de los 2 m, el 109 ubicado en La Candelaria (centro de Caracas) tiene una diferencia de 2,16 m. Adicionalmente se midieron otros tres puntos ubicados a una distancia aproximada de 100 m, donde se hace mención al punto del Hotel Ávila que tiene una diferencia por debajo de los 2 m y los otros dos por estar muy cercano al Ávila tiene una precisión de 2,6 y 2,7 m, con esto se evidencia lo importante de un DEM preciso cuando se tiene una superficie topográfica muy variada, tomando como caso especial al colegio La Salle, que al estar muy cerca al Parque Nacional el Ávila y ser el punto de control extremo a la escena, tiende a producir deformaciones por la falta de un DEM preciso.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para la imagen IKONOS (GEO, pan sharpened) realizada en el área urbana de Caracas, NO se obtuvo la exactitud cartográfica requerida para la escala 1:5.000, porque el RMS de los puntos de control fué de 4,90 m. A pesar de eso, al comparar las zonas planas con los Puntos de Verificación y con otros productos ortocorregidos, se concluye que ésta alcanza las precisiones de un producto a escala 1:5.000 para zonas con cambios de pendientes inferiores al 8%.

Se recomienda el uso de Imágenes Orthokit para trabajar en áreas urbanas.

Se recomienda el uso de DEM's de mayor resolución para ortocorregir imágenes Ikonos donde existan cambios evidentes de pendiente. También se recomienda evaluar la posibilidad de extraerlos a partir de estéreo imágenes de sensores como el LIDAR, SPOT e IKONOS.

6. REFERENCIAS

- Atkinson, S. (2.001). Satellite Imagery Rectification. GIM International, Vol 15, N° 11. (pp.72-75).
- Corbley, K (2.000). Image Processing and Analysis. Imaging notes, Vol 15, N°3. (p. 19).
- Dial, G. (2.000). Horizontal Accuracy. Imaging notes, Vol 15, N°2. (pp. 6-7).
- Ganas A., Lagios E. Y Tzannetos N. (2.001). An Investigation on the Spatial Accuracy of the IKONOS 2 Orthoimagery within an Urban Environment. Atenas-Grecia: Geophysics Laboratory University of Athens.
- Gerlach, F. (2.001). How collection Geometry Affects Image Tonality. Imaging notes, Vol 16, N°1. (pp. 6-7).
- Main, J. D. (2.000). Precise Ground Control Is Essential for Spatial Accuracy. Imaging notes, Vol 15, N° 04. (pp. 06-07).
- PCI Geomatics (2.000). OrthoEngine. Satellite Edition. User's Guide Version 7.0
- Salcedo, R y Toutin T (2.001). High Resolution Mosaic for Flood Damage Assessment in Venezuela. Caracas, Venezuela: Centro de Procesamiento Digital de Imágenes, Fundación Instituto de Ingeniería.
- Space Imaging Employees y Space Imaging Authorized Resellers (2.001). Geo 1m, Ortho Kit & Geo 4m Ortho Kit. www.spaceimaging.com [on-line]
- Space Imaging (1.999) Coming in 1.999 IKONOS 1 m Data! <http://www.spaceimaging.com/products/catalog/singlePDFs/ikonos.pdf> [on-line]
- Toutin T. y Cheng P. (2.000). Demystification of IKONOS. Ottawa, Canada: Canadian Center of Remote Sensing, Natural Resources Canada.

ESPECIALIZACIÓN

TELEDETECCIÓN Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICADOS AL ESTUDIO DEL MEDIO AMBIENTE



2005

Objetivo

Capacitar profesionales provenientes de diferentes disciplinas científico-técnicas calificándolos, desde una perspectiva teórico-metodológica y práctica, en el desarrollo de datos georeferenciados aplicables al estudio y gestión de recursos naturales y problemas ambientales.

Título a otorgar

Especialista en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica Aplicados al Estudio del Medio Ambiente

Destinatarios

La Carrera está dirigida a profesionales provenientes de distintas áreas del conocimiento que se desempeñen en instituciones universitarias y organizaciones técnico-científicas, tanto públicas como privadas, vinculadas con el estudio de los recursos naturales y medio ambiente o que estén interesados en la temática abordada.

Requisitos de ingreso

Poser título de grado correspondiente a una carrera de no menos de cuatro años de duración, en disciplinas vinculadas con la temática tales como: Información Ambiental, Informática, Biología, Agronomía, Ingeniería Forestal, Geografía, Geología, Ingeniería Ambiental y Agrimensura, entre otras.

Modalidad

La Carrera se desarrollará con la modalidad presencial. Comprende 11 módulos que totalizan 360 horas de cursado, a las que se agregan 200 horas correspondientes a la elaboración del Trabajo Final.

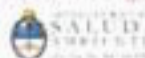
INFORMES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LUJÁN
PRODITEL

Tel: (054) 2323-423171 (int 248)
Cruce de rutas 5 y ex7 (C.P. 6700)
Luján - Buenos Aires - Argentina
proditel@mail.unlu.edu.ar

Auspician:

Ministerio de Salud y
Ambiente de la Nación



Comisión Nacional
de Actividades
Espaciales



Geomatica⁹

Software Solutions

Powering Productivity



Geomatica 9 builds upon three decades of commitment to elevate both functionality and design in PCI Geomatics software solutions. Our dedication to building Simple Solutions for a Complex World has led us to the most capable and most dynamic geomatics software solution available today.

Geomatica 9 breaks down the conventional divisions between traditional Remote Sensing, GIS, Cartography, and Photogrammetry software tools. All of these are offered in a single integrated environment, meaning fewer errors, less wasted time, and greater productivity.

No other geomatics software solution has the built-in capabilities to support your needs and increase your productivity like Geomatica 9, and no other geomatics software solution makes integrated geomatics seem so easy.

Contact us today and discover how our solutions and professional customer support bring greater productivity to your organization.



PCI
Geomatics

For more information contact John Roos:

Tel: +1(819) 770-0022 Ext. 221 Fax: +1(819) 770-0098 Email: roos@pci-geomatics.com

www.pci-geomatics.com

XII SIMPOSIO INTERNACIONAL SELPER 2006

Cartagena Colombia Septiembre 25 - 29 de 2006

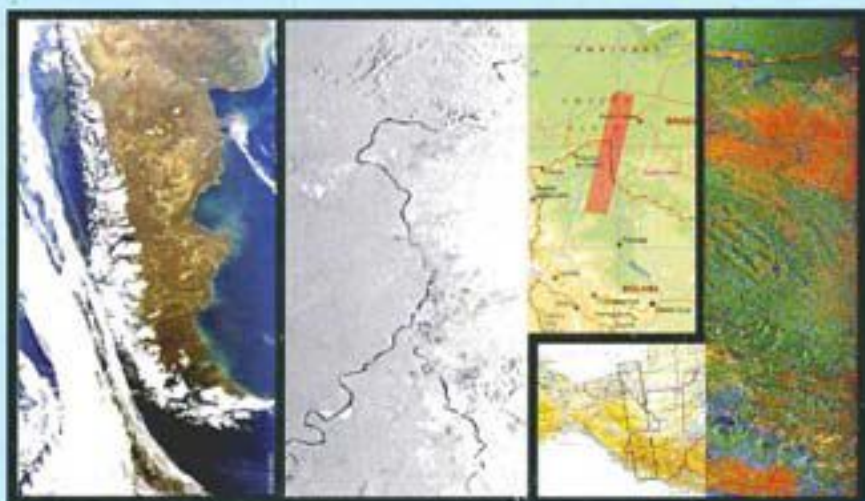
XXV Reunion Plenaria
SELPER



www.selper.org.co info@selper.org.co
Carrera 30 No 48 - Oficina 212 Edificio CIAF - IGAC
Telefax: 571 - 369 4096 - Teléfono: 571- 369 4000 ext. 4629



ESA promueve el desarrollo y la cooperación internacional



ESA - ESRIN

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

Tel: (39.06) 94180.940

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) 5369.7731, Fax: (33.1) 5369.7627

Att: Sra. Marie Elisabeth De Vel (América Latina)



REVISTA - JOURNAL SELPER

VOL. 20, Nº 1, 2004

EQUADOR
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

BOLIVIA
2002 - 2004