

Aplicación de la técnica de análisis multitemporal en estudios de sedimentos superficiales en sistemas lacustres

Application of the technique of multitemporal analysis in studies of superficial sediments in lake systems

LEONARDO LAVANDEROS G.

Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Santiago

The use of digital image has become in the last ten years an important tool in the study of dynamic superficial phenomenon in lakes systems. Changes in space and time, concerning sediment concentration can be characterized and quantified, by a multitemporal technique using algorithms that relate image information and field measurements.

INTRODUCCION

Durante la última década, el uso de las técnicas de percepción remota, particularmente la imagen de satélite, ha llegado a constituir una herramienta de gran importancia en el análisis de fenómenos superficiales en sistemas de aguas continentales y costeros (Rouse y Coleman, 1976; Verdin, 1985; Khorram, 1985). Fenómenos tales como descarga de sedimentos en lagos, distribución y desarrollo de manchas de biomasa superficial en el tiempo, desarrollo de indicadores de estados tróficos (Carlson, 1977; Lillesand *et al.*, 1983) han sido abordados tanto desde el punto de vista cualitativo como cuantitativo. En el primer caso, la imagen ha ayudado en la descripción de las características del fenómeno, como, por ejemplo, la entrada de sedimentos a un lago que define puntos o núcleos constantes en el tiempo y discrimina los componentes transientes del fenómeno. Esto se debe a que los sedimentos se comportan como trazadores direccionales naturales (Dussart, 1984).

Las aproximaciones de carácter cuantitativo han estado enfocadas a desarrollar algoritmos que relacionan los datos del satélite con variables de tipo biótico, como concentración de biomasa (C1-a) y variables de tipo abiótico, como concentración de fósforo y nitrógeno superficial

asociados a partículas de un tamaño determinado (Scarpace *et al.*, 1979).

Al estudiar un fenómeno superficial de un sistema lacustre debemos definir su característica como componente de este sistema, ya sea biológico, como es el caso del fitoplancton, o bien de tipo abiótico, como es el caso del tripton (Kirk, 1983). Esta caracterización se hace mediante las reflexiones que presentan y que son factibles de separar por las bandas electromagnéticas con que cuenta el satélite (Shannon *et al.*, 1983; Lillesand *et al.*, 1983).

Otra de las propiedades de uso de imágenes digitales es la resolución espacial que permite el análisis de fenómenos de gran envergadura, además de integrar información de varias fechas simultáneamente. Esto último permite la descripción del fenómeno en términos del desarrollo a partir de núcleos que van sumándose en el tiempo o desapareciendo según sea el caso.

El objetivo de este trabajo es usar la imagen digital en la descripción de fenómenos superficiales lacustres, en lo que se refiere a su extensión espacial. Particularmente, es usar el análisis multitemporal para visualizar el desarrollo de una zona espacial entre un intervalo de tiempo y el siguiente.

METODO

Tratamiento de imágenes

El término Imagen Digital se refiere a una función de intensidad de luz en una superficie denotada por $f(x, y)$ (González y Wintz, 1977).

Los valores o la amplitud de la función en las coordenadas espaciales (x, y) están dados por la intensidad de la imagen en el punto. Al referirnos a $f(x, y)$ como energía, ésta toma valores distintos de cero y finitos.

$$0 < f(x, y) < \infty$$

Esta función puede considerarse como el producto de 3 componentes: La intensidad de la fuente (i), la reflexión por parte del objeto (r) y la interferencia atmosférica (z).

siendo: $0 < i(x, y)$

$$\begin{aligned} 0 < r(x, y) < 1 \\ 0 < z(x, y) < 1 \end{aligned}$$

Donde:

0 es absorción total y 1 representa reflectancia total para r , 0 transparencia total y 1 absorción total para la atmósfera en el caso de z , $i(x, y)$ depende de la naturaleza de la fuente, $r(x, y)$ de la naturaleza del objeto y $z(x, y)$ de la concentración de partículas atmosféricas.

Si trabajamos con una imagen monocromática el valor que toma f en (x, y) se le denomina nivel de gris.

Los niveles de grises pueden tomar valores (0, 1) donde 0 es negro y 1 es blanco, a este intervalo se le denomina escala de grises.

La digitalización de las coordenadas espaciales (x, y) son referidas a la muestra de imagen y la amplitud a la cuantificación de los niveles de grises.

Una imagen continua $f(x, y)$ es aproximadamente un arreglo $N \times N$.

$$\begin{aligned} & f(0, 0) \quad f(0, 1) \quad \dots \quad f(0, N-1) \\ & f(1, 0) \quad f(1, 1) \quad \dots \quad f(1, N-1) \\ & \quad \cdot \\ & \quad \cdot \\ f(x, y) & \quad \cdot \\ & \quad \cdot \\ & \quad \cdot \\ & f(N-1, 0) \quad f(N-1, 1) \quad \dots \quad f(N-1, N-1) \end{aligned}$$

Cada elemento del arreglo es una cantidad discreta.

Consideremos entonces un cuerpo lacustre como un arreglo matricial, donde cada componente entregará información respecto a la intensidad de reflexión de la variable (por ejemplo,

sedimentos en suspensión) para una determinada coordenada espacial.

La determinación de este parámetro en lo que se refiere a su tipificación y cuantificación posterior consiste en lo siguiente: según sea la estructura de la partícula (tamaño, composición, etc.) presentará un comportamiento particular para las diferentes longitudes de onda (rango visible e infrarrojo no termal).

Etapas del procesamiento

Una vez localizada el área de estudio mediante el computador, se pueden realizar ampliaciones digitales a diferentes escalas. En la práctica la escala de mayor resolución a que se puede llegar con el sensor MSS (Satélite Landsat) es de 1:20.000. La información debe corregirse geoméricamente para que su coincidencia con la base cartográfica sea perfecta. También dependiendo del estudio, se hacen correcciones radiométricas y aumento de contraste en la imagen. Estas técnicas tienen como fin presentar una imagen de excelente calidad visual. Dos puntos son de vital importancia para los estudios lacustres, a saber, confección de imágenes multitemporales en falso color y clasificación digital.

El primer resultado entrega información respecto a los cambios producidos en los fenómenos de interés en un lapso como, por ejemplo, la entrada de sedimentos contaminantes puede permanecer constante en el tiempo y en el espacio y/o evolucionar hacia diferentes puntos del cuerpo de agua.

El segundo resultado nos permite, una vez detectado cierto tipo de fenómeno en un punto, que éste pueda ser evaluado (extrapolado) para todo el lago en cuestión, transformando una medición puntual en un área con iguales características.

Uso en lagunas o sistemas lacustres

Supongamos un cuerpo de agua oligotrófico donde la concentración de biomasa es baja, por lo cual el intervalo (0, 1), donde 0 es absorción total (negro) y 1 es reflectancia total (blanco), tomará pocos valores entre 0 y 1.

Estos valores podrían deberse solamente al agua y/o a las contribuciones hechas por material en suspensión, todo esto para una longitud de onda entre 700 nm y 800 nm. Sin embargo, es conocida la diferencia de penetración de las longitudes de onda que constituyen el espectro visible en el agua, por lo cual, si el análisis se hiciera utilizando la descomposición de este espectro en sus bandas entre 500 nm y 600 nm y 600 nm y 700 nm, los resultados obtenidos se deberían a contribuciones de los sedimentos en suspensión o al agua propiamente tal.

Esta información es entregada en un histograma de frecuencias para intensidad versus porcentaje de reflexión, los cuales permiten la tipificación del contribuyente según sea la longitud de onda empleada.

En esta primera etapa nuestro método tuvo como objetivo discriminar la reflexión debida a sedimentos como función de longitud de onda en condiciones de cantidad mínima.

Si usamos simultáneamente un cuerpo lacustre de alta reflectancia debido a partículas inertes en suspensión, podremos tipificar qué rangos ocupan los sedimentos en condiciones máximas en el histograma de frecuencias como función de una determinada longitud de onda.

Por otro lado, al asignarle un color a los valores de grises tomado entre (0 y 1) tendríamos:

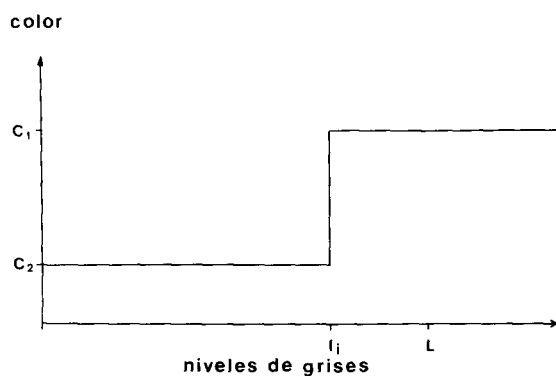


FIG N° 1

RESULTADOS Y DISCUSION

El fenómeno de descarga de sedimentos en el Embalse Rapel (Fig. 2) fue captado en dos fechas distintas, noviembre 1983 y febrero 1984 (Fig. 3 y Fig. 4), la zona de descarga donde se produce un aporte significativo corresponde a la desembocadura de los afluentes Cachapoal y Tinguiririca. El primero de estos dos es el que tiene mayor incidencia en la contribución de sedimentos al embalse.

La imagen obtenida de noviembre 83 (Fig. 3) corresponde al deshielo de primavera y se observa una contribución notable, tanto en intensidad como extensión.

Mediante el uso de la banda del infrarrojo (0,7 μm -0,8 μm) y (0,8 μm -1,1 μm) se discriminó la zona correspondiente a agua, el sector comprometido debido a las plumas de sedimentos se tipificó usando las propiedades de reflectancia de los sedimentos en los rangos del infrarrojo cercano (0,7 μm -0,8 μm) y del visible en el verde (0,5 μm -0,6 μm) y rojo (0,6 μm -0,7 μm). A partir de estas dos bandas se obtienen grados de profundización y concentración relativas de la mancha de

sedimentos (Fig. 3). La disminución de sedimentos es notable para el mes de febrero 84 (Fig. 4), sin embargo, se destacan áreas de alta reflectancia en la desembocadura de ambos ríos.

La pregunta a resolver es: Si el aporte de sedimentos corresponde a un mínimo que se mantiene constante en el tiempo o ciclo anual, o bien, si debido al arrastre de los últimos años se han producido embancamientos en la zona.

La solución fue obtenida haciendo cortes batimétricos en las zonas de sedimentación. La profundidad en estas áreas no supera los 0,5 metros, por lo cual la alta reflectancia se debe a la reflexión de fondo por una parte y a salidas constantes de sedimentos durante el año. Esto fue corroborado usando análisis multitemporal y composición en falso color para las dos fechas. El análisis multitemporal se logró en base a la superposición de imágenes de distintas fechas en una imagen compuesta con información de distintas longitudes de onda como, por ejemplo, la (Fig. 5) que posee información de la banda 7 (infrarrojo) y la banda 5 (rojo) de febrero 1984, con información de la banda 5 (rojo) de noviembre de 1983. De esta manera, si la intensidad es la misma para las dos fechas, la proporción de mezcla será la misma para los colores asignados a las bandas, generándose así un color secundario (cyan* en este caso) que se logra sólo en estas proporciones. Esto significa que el fenómeno es constante durante este intervalo de tiempo y en esta zona específica.

Finalmente es destacable el embancamiento producido en la salida del río Tinguiririca como corroboración de las observaciones de terreno.

El método aquí empleado resulta de gran ayuda en el estudio de sistemas lacustres, en lo que respecta a descripción de fenómenos superficiales así como también en poder predeterminedar la posición de estaciones de muestreo, tanto intensivas como extensivas.

* Cyan: color verde azulado altamente saturado, es el color complementario del rojo y forma con el magenta y el amarillo un set de colores primarios.

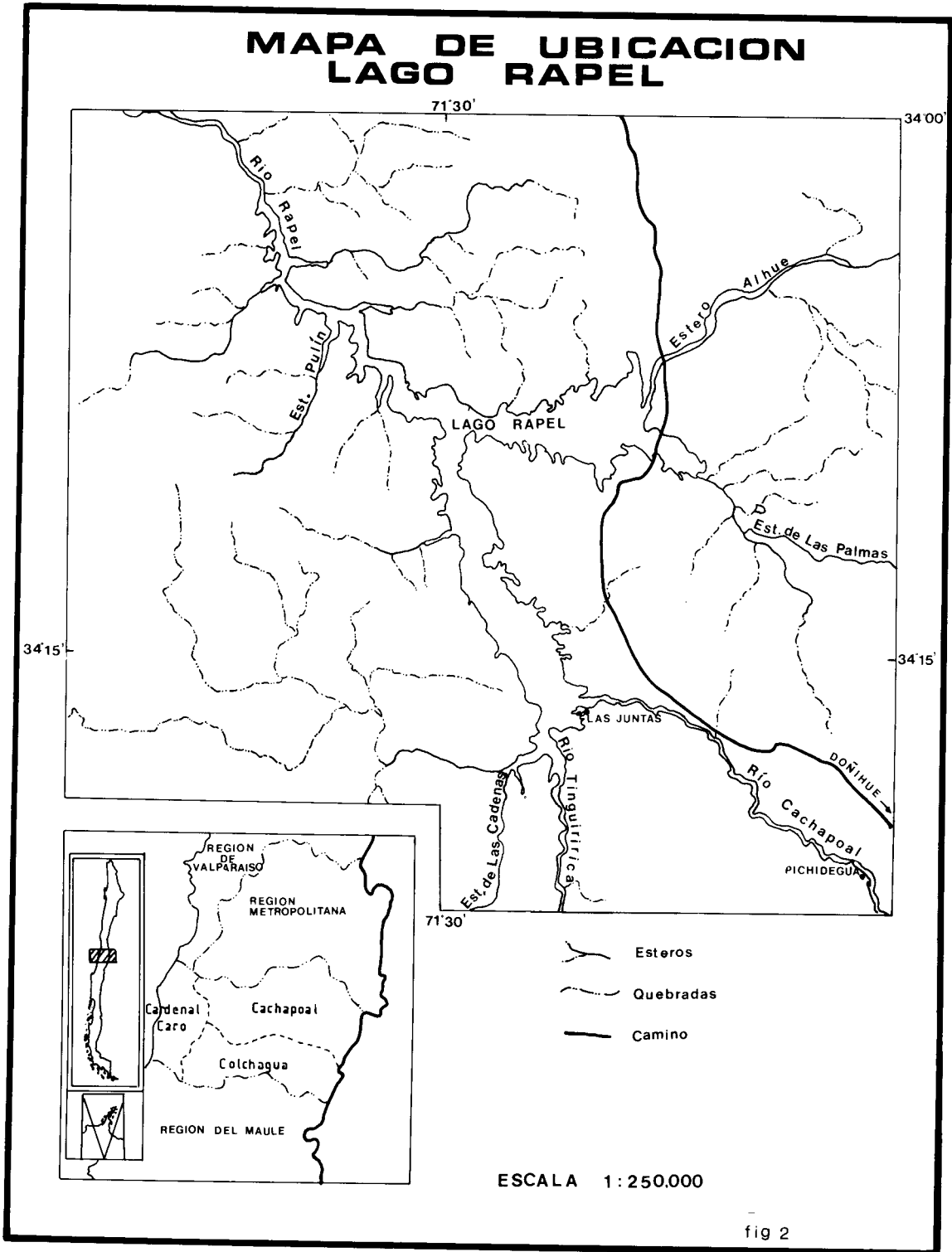


fig 2

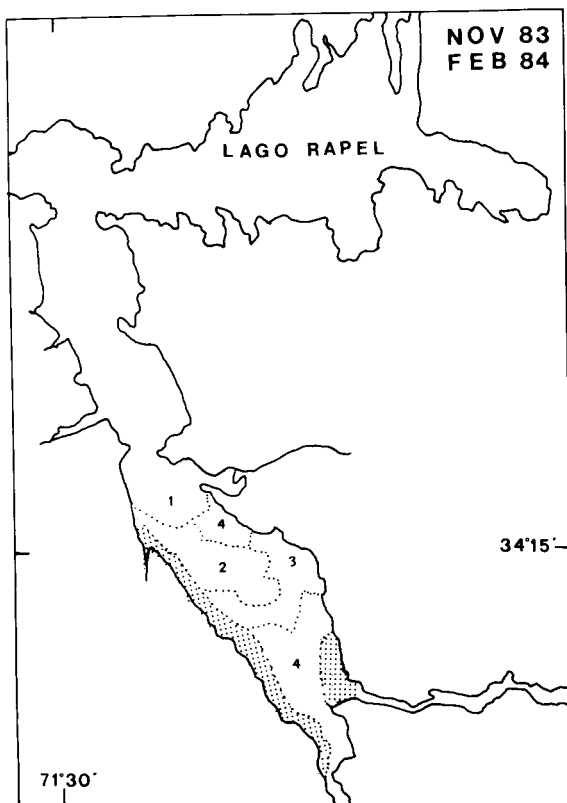
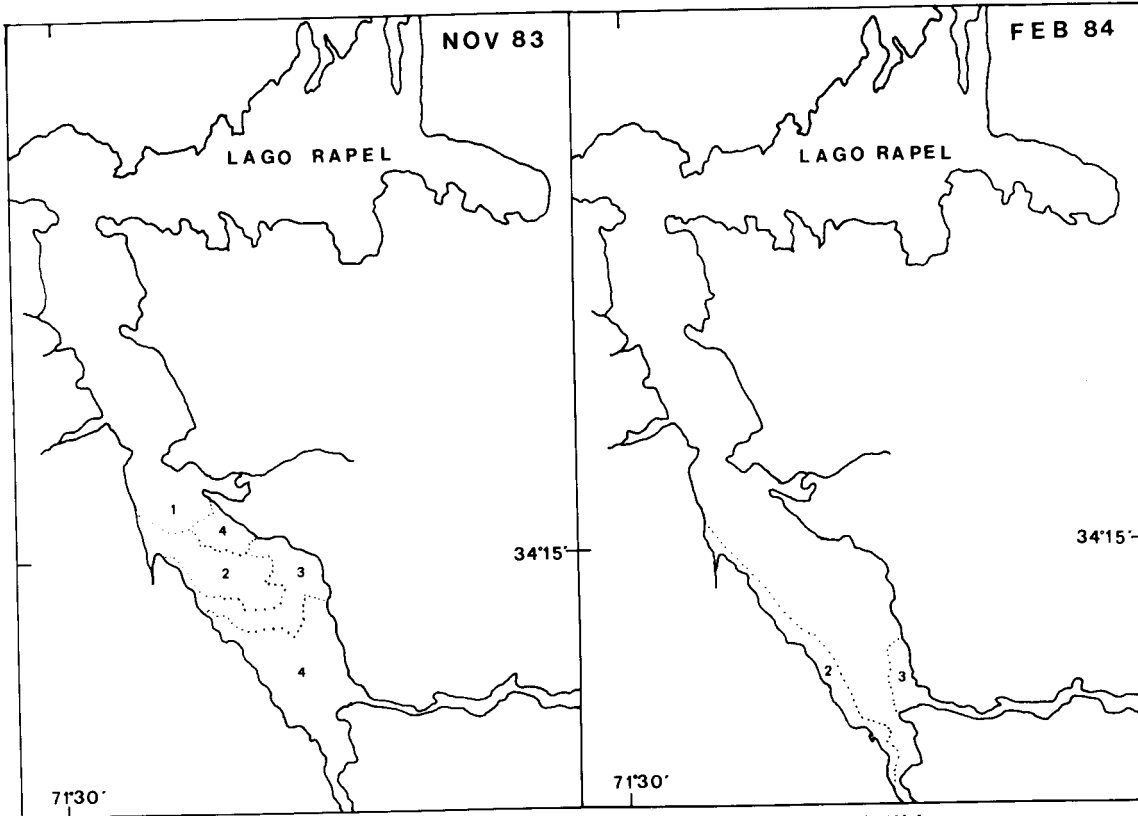


FIG. N°5

Multitemporal
Nivel de sedimentos :

- 1 nulo
- 2 medio
- 3 alto
- 4 muy alto
- ▨ zona de embancamiento

De esta manera se logra una comprensión más totalizada de los fenómenos en cuestión, y los modelos ecológicos adquieren una escala temporal como espacial de mayor precisión.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco el apoyo brindado por el Centro de Estudios Espaciales de la Universidad de Chile a través del Ingeniero Sr. Carlos Pattillo B. y de los geógrafos Viviana Solivelles y Mónica Ihl, además el apoyo brindado por el biólogo Sra. Teresa Agüero.

Este trabajo fue financiado parcialmente por el Proyecto D.I.B. N° 1577-8544 de la Universidad de Chile y Centro de Estudios Espaciales de la Universidad de Chile.

REFERENCIAS

- CARLSON, R.E. (1977) A Trophic State for Lakes. *Limnol. Oceanogr.* 22: 361-369.
- CORDOBA, F.; MONTECINO, V.; ORELLANA, R. y PATTILLO, C. (1984) Recolección de información mediante técnicas de procesamiento de Imágenes Digitales. *Arch. Biol. Med. Exp.* 17: 72. (Abstract).
- DUSSART, B.H. (1984) Problemas de manejo de embalses y lagos naturales. *Embalses fotosíntesis y productividad primaria*. MAB. Universidad de Chile. N. Bahamonde y S. Cabrera (Edits.), Cap. 2, pp. 33-39.
- GONZALEZ, R.; WINTZ, P. (1977) *Digital Image Processing*. Addison-Wesley Publishing Company.
- KHORRAM, S. (1985) Remote Sensing of Water Quality in the Neuse River Estuary, North Carolina. *Photogram. Eng. Remote Sens.* 51: 329-341.
- KIRK, J.T. (1983) *Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems*. Cambridge University Press, London.
- LILLESAND, T.M.; JOHNSON, L.W.; DEVELL, R.L.; LINDSTROM, O.M. and MENNER, D.E. (1983) Use of Landsat Data to predict Trophic States of Minnesota Lakes. *Photogram. Eng. Remote Sens.* 49: 219-229.
- ROUSE, L.J. and COLEMAN, J.M. (1976) Circulation observations in the Louisiana Bight using Landsat imagery. *Remote Sens. Environ* 5: 55-66.
- SCARPACE, F.L.; HOLMQUIST, K.W. and FISHER, L.T. (1979) Landsat Analysis of Lake Quality. *Photogram. Eng. Remote Sens.* 45: 623-633.
- SHANNON, L.V.; MOSTER, S.A.; WALTERS, N.M. and ANDERSON, F.P. (1983) Chlorophyll concentration in the Southern Benguela current region as determined by satellite (Nimbus-7 coastal zone colour scanner). *Plankton Res.* 5.
- VERDIN, P. J. (1985) Monitoring Water Quality Conditions in a Large Western Reservoir with Landsat Imagery. *Photogram. Eng. Remote Sens.* 51: 343-353.