

LA UTILIZACION ACTUAL Y LAS POSIBILIDADES DE LOS SATELITES METEOROLOGICOS

Por: Luis S. Muniosguren

1. Consideraciones Generales.

Podemos afirmar con gran satisfacción que la Comunidad meteorológica fué de las primeras que se dió cuenta de las enormes posibilidades que le ofrecían los satélites artificiales. En efecto, si el primer satélite artificial se puso en órbita en 1957, el primer satélite meteorológico de los Estados Unidos de América, el TIROS 1, circulaba alrededor de la Tierra en Abril de 1960.

En cuanto a los satélites meteorológicos de la URSS, el primero fué el COSMOS 122 lanzado en Junio de 1966 aunque ya otros COSMOS anteriores —por ejemplo, el COSMOS 14 lanzado en Abril de 1963— tuviesen alguna experiencia meteorológica. Si se toma la lista de satélites de la URSS llama la atención que los satélites meteorológicos sean de las pocas series con personalidad, al tener nombre específico METEOR, puesto que la mayoría están englobados en la denominación genérica COSMOS.

En poco más de 20 años se han puesto en órbita con éxito alrededor de 100 satélites meteorológicos y cabe preguntarse si el enorme esfuerzo que ello representa ha valido la pena. Personalmente estimo que sí; aunque bien es verdad que las posibilidades que ofrecen los satélites superan en gran medida la capacidad de asimilación de muchos países. Podríamos hablar, incluso, de crisis de consumidores.

La utilización de todas las posibilidades que brindan los satélites exige unas inversiones importantes en instalaciones y equipos, un mantenimiento costoso y cualificado, y un personal bien instruido y formado. Por ello, pocos países han alcanzado un alto nivel en el uso de los satélites meteorológicos. De todas formas, con personal adecuado y equipos más sencillos pueden también realizarse aplicaciones muy útiles y tanto más valiosas cuanto peor sea la infraestructura meteorológica del país que se trate.

No debe creerse, sin embargo, que los satélites meteorológicos pueden remplazar a otros procedimientos más convencionales; vienen a complementarlos y, a veces incluso, a mejorarlos pero no a sustituirlos. Los satélites meteorológicos están manejados por muy pocos países y son además muy vulnerables por lo que en una situación conflictiva es posible que no pudiesen ser utilizados como en la actualidad.

Hemos aludido repetidamente a las posibilidades de los satélites meteorológicos. ¿Cuales son esas posibilidades?

Desde que el TIROS 1 se colocó por encima de la tenue envoltura gaseosa de nuestro planeta y comenzó a transmitir fotografías en visible e infrarrojo hasta hoy, el avance puede calificarse de espectacular. Actualmente, varios satélites desarrollan continuamente misiones como observatorios complejísimos y como centrales de comunicaciones. Unos, los geostacionarios, permanecen fijos sobre el ecuador a 35.800 km. de altura mientras que otros giran a unos 1000 km. alrededor de la Tierra, generalmente en órbita síncrona solar, pasando dos veces al día sobre cada zona de la Tierra.

Aparte de la obtención y transmisión de fotografías, que es la aplicación más conocida de los satélites meteorológicos, las aplicaciones cuantitativas cobran cada vez más importancia y podemos clasificarlas de acuerdo con la tabla I.

El número que aparece a la izquierda de cada aplicación tiene carácter orientativo con la siguiente significación:

- (1) Aplicación actualmente operativa en algun (os) país (es)
- (2) Aplicación experimental. Estarán operativos hacia 1985
- (3) Experimental o en operación hacia 1990

Las aplicaciones cuantitativas que aparecen en los dos primeros grupos permitirán mejorar paulatinamente la cantidad y calidad de los datos que se utilizan en Meteorología para analizar y predecir los fenómenos meteorológicos a distintas escalas y, como consecuencia, podrán producirse mejoras en los distintos campos de aplicación meteorológica: pesca, agricultura, recursos hidráulicos, etc. La información suministrada por los satélites meteorológicos es de valor especial en regiones de escasa cobertura convencional, como los trópicos y el hemisferio sur.

2. Aplicación Cuantitativa.

Durante 1981 se ha realizado en la Sección de Investigación del Centro de Estudios Meteorológicos del I.N.M. el Proyecto titulado "Obtención de la temperatura superficial del mar con medidas con AVHRR" que utiliza datos cuantitativos obtenidos por los satélites TIROS-N, NOAA-6 y NOAA-7 con el radiómetro avanzado de alta resolución (AVHRR). Este radiómetro realiza una exploración por líneas de la radiación procedente de la Tierra en cinco (o cuatro, según el satélite) bandas espectrales. El ángulo de exploración es de $\pm 56^\circ$ y la resolución en el punto debajo del satélite es de 1,1 km.

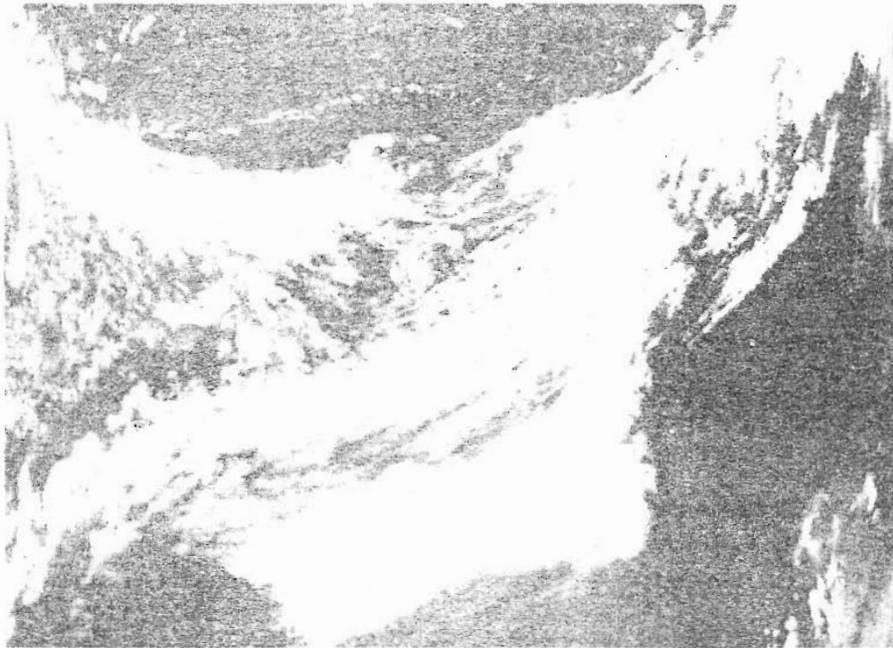
Las cinco bandas espectrales de los cinco canales vienen dadas por los siguientes intervalos expresados en micras

Canal 1	0,58	a	0,68
Canal 2	0,725	a	1,10
Canal 3	3,55	a	3,93
Canal 4	10,5	a	11,5
Canal 5	11,5	a	12,5

Hemos trabajado con los datos digitales producidos durante unos tres minutos por el AVHRR del NOAA-6 y hemos centrado nuestro estudio en los canales 1 y 4, es decir, una imagen en visible y otra en infrarrojo. La imagen de cada canal está compuesta de 1312 líneas cada una de las cuales posee 2048 puntos. Los datos corresponden al 15 de Julio de 1980 hacia las 8: 54 Z y comprenden un área limitada por cuatro puntos cuyas coordenadas son: $49,6^\circ \text{N}$ y $28,5^\circ \text{W}$, $44,5^\circ \text{N}$ y $6,8^\circ \text{E}$, $37,2^\circ \text{N}$ y $28,8^\circ \text{W}$, $32,8^\circ \text{N}$ y 0°E . Ambas imágenes pueden verse en las fotografías 1 y 2.



Fotografía 1.
Corresponde al canal 1 (visible) del AVERR del NOAA-6.
Se observa el Estrecho de Gibraltar en el extremo inferior derecho.



Fotografía 2.
La misma zona de la fotografía 1 vista por el canal 4 (infrarrojo).

Los datos vienen grabados en cinta magnética de manera que toda la información correspondiente a una línea de la imagen (datos de los cinco canales, indicadores de calidad, coeficientes de calibración, coordenadas de determinados puntos de la línea y ángulos cenitales del Sol) viene comprimida en dos registros de 7400 octetos. Como consecuencia de ello ha sido preciso desarrollar unos programas en ensamblador para leer registros de esa longitud y para tratar la información a nivel de bit con objeto de desempaquetar la información y poder utilizarla. El paso siguiente ha sido el cálculo del albedo en los canales 1 y 2 del visible y de la energía medida por el sensor en los canales 3, 4 y 5 del infrarrojo; para ello se ha partido de los coeficientes de calibración de la línea y los correspondientes datos.

Una vez obtenida la energía recibida por el radiómetro en el canal 4, correspondiente a cada punto de la imagen, nuestro problema era calcular la temperatura de la superficie emisora de esa energía. Para ello ha sido preciso realizar algunas hipótesis relativas a la atenuación entre la superficie emisora y el radiómetro receptor y también sobre las características como cuerpo emisor de dicha superficie. A continuación resumimos dichas hipótesis y el procedimiento seguido para el cálculo de la temperatura.

Suponemos que en el recorrido de la radiación entre la superficie emisora y el satélite, la atenuación de la intensidad radiante en el intervalo espectral correspondiente al canal 4 se debe únicamente a la absorción por el vapor de agua, sin que haya dispersión ni emisión. Por consiguiente, podremos aplicar la conocida expresión de Bouguer-Beer

$$I_{\text{sat}} = I_{\text{sup}} e^{-K \sec \theta \frac{1}{g} \int_{\text{sat}}^{\text{sup}} q \, dp} \quad (1)$$

donde θ es el ángulo del rayo con la vertical, q es la humedad específica, p es la presión, I_{sup} la intensidad emitida por la superficie, I_{sat} la intensidad medida por el satélite, g es la aceleración de la gravedad, y k es un coeficiente de absorción que suponemos independiente de la presión y la temperatura. Para el cálculo de la integral que aparece en el exponente, que no es otra cosa que el espesor óptico hemos utilizado los valores de humedad específica dados por el Centro Europeo de Predicciones Meteorológicas a Plazo Medio (ECMWF) para los niveles de 1000, 850, 700, 500, 400 y 300 mb y hemos aplicado la siguiente aproximación

$$\int_{\text{sat}}^{\text{sup}} q \, dp = 1000 (50 q_{1000} + 175 q_{850} + 175 q_{700} + 150 q_{500} + 100 q_{400} + 100 q_{300}) \quad (2)$$

donde la presión viene dada en mb y la humedad específica en gramos por gramo. Sustituyendo (2) en (1) resulta la expresión

$$I_{\text{sat}} = I_{\text{sup}} e^{-K \sec \theta (50 q_{1000} + \dots + 100 q_{300})} \quad (3)$$

donde el coeficiente de absorción k ha de darse en $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$. Para calcular el coeficiente k hemos aplicado la expresión (3) al valor de la energía I_{sat} medida por el satélite y proveniente de un punto despejado de la superficie del mar y a la energía I_{sup} dada por la ley de Planck para una temperatura medida en ese punto por un barco.

Para obtener la temperatura de un punto de la superficie del mar hemos aplicado la ecuación (3) para calcular I_{sup} ya que conocemos el valor de I_{sat} y el del exponente. Suponiendo que la superficie del mar emite como un cuerpo negro en la longitud de onda que nos ocupa, podemos aplicar la ley de Planck y calcular la temperatura que corresponde a la intensidad emitida I_{sup} .

En nuestro estudio hemos elegido una zona con poca nubosidad que contiene el Golfo de Cádiz y hemos aplicado el procedimiento indicado anteriormente para el cálculo de albedos y temperaturas en subconjuntos de puntos de dicha zona. En todos los casos, para simplificar los programas de cálculo, hemos utilizado un espesor óptico de $2,47 \text{ g cm}^{-2}$ en las correcciones por absorción del vapor de agua que hemos obtenido a partir de los datos de humedad específica del ECMWF.

De esta manera hemos formado matrices de datos de 31×25 elementos que han sido tratados, por un paquete de obtención de gráficos facilitados por el ECMWF, con objeto de producir de forma automática en el trazador VERSATEC 8122 los correspondientes mapas de isolíneas.

La figura 1 muestra las isotermas de la mencionada zona. En este caso se ha tomado un punto de cada diez de la línea explorada por el radiómetro y una línea de cada diez, habiéndose elegido un intervalo de un grado centígrado entre isotermas. La línea de costa viene claramente delimitada por el fuerte gradiente de temperatura entre tierra y mar. Los núcleos de isotermas que aparecen a la derecha de la imagen son producidos por las nubes dispersas existentes en la zona. La escala de 50 km. que aparece en la figura es sólo orientativa pues la imagen está deformada y no puede hablarse en rigor de una escala.

Las isolíneas de albedo en tanto por ciento correspondientes a la misma zona se muestran en la figura 2. Se observa que los valores elevados del albedo se corresponden con las zonas de nubes dispersas que aparecen en la figura 1. El gradiente hacia el este del albedo en el cuadrante inferior izquierdo de la figura se debe a la posición hacia levante del Sol a esas horas de la mañana.

Tanto en la figura 1 como en la 2 hemos dibujado dos zonas rectangulares que no contienen nubes, con un albedo inferior al 10 %, y que vamos a estudiar con mayor resolución. La figura 3 nos muestra la mayor de esas zonas; aquí se ha tomado un punto de cada cuatro dentro de cada línea y una línea de cada cuatro, habiéndose elegido un intervalo de medio grado centígrado entre isotermas.

En la figura 4 aparece la zona más pequeña para la cual se han tomado todos los puntos dados por el radiómetro. Con esta resolución máxima hemos tomado isotermas separadas por dos décimas de grado.

Los resultados que hemos presentado muestran una estructura realmente compleja de las zonas de fuerte gradiente térmico que conviene estudiar detenidamente. También es preciso un estudio detallado del coeficiente k y del contenido total del vapor de agua.

T A B L A I

APLICACIONES CUANTITATIVAS DE LOS SATELITES METEOROLOGICOS

1. Atmósfera

- (1) Distribución de la temperatura con la presión
- (2,3) Componentes variables y contaminantes (H_2O , O_3 , aerosoles, etc)
- (2) Balance de radiación en la cima de la atmósfera
- (1) Viento a distintos niveles partiendo del desplazamiento de nubes o de globos de nivel constante
- (2) Distribución de las nubes y su estructura
- (2) Altura y temperatura de la cima de las nubes
- (3) Fases del agua de la capa superior de la nube
- (3) Contenido total de agua en las nubes
- (2) Zonas de precipitación y su intensidad aproximada

2. Superficie

- (1,2) Temperatura de la superficie (mar y tierra)
- (2) Localización de corrientes oceánicas superficiales
- (3) Oleaje
- (1) Hielos marinos
- (3) Situación de zonas contaminadas sobre la superficie del océano
- (3) Humedad del suelo
- (2) Distribución de la capa de nieve
- (3) Características del suelo y de la vegetación
- (2) Zonas de fusión de la nieve y el hielo

3. Comunicaciones

- (1) Recolección automática de datos de globos, boyas y estaciones automáticas
- (1) Transmisión de datos obtenidos por el propio satélite
- (1) Recepción y transmisión de datos meteorológicos de distinto nivel

BIBLIOGRAFIA

- NOAA Polar Orbiter Data (TIROS-N and NOAA-6); Users Guide. NOAA (1981).

- Función de los satélites en los programas de la OMM durante la década de 1980. OMM núm. 494. 1978.

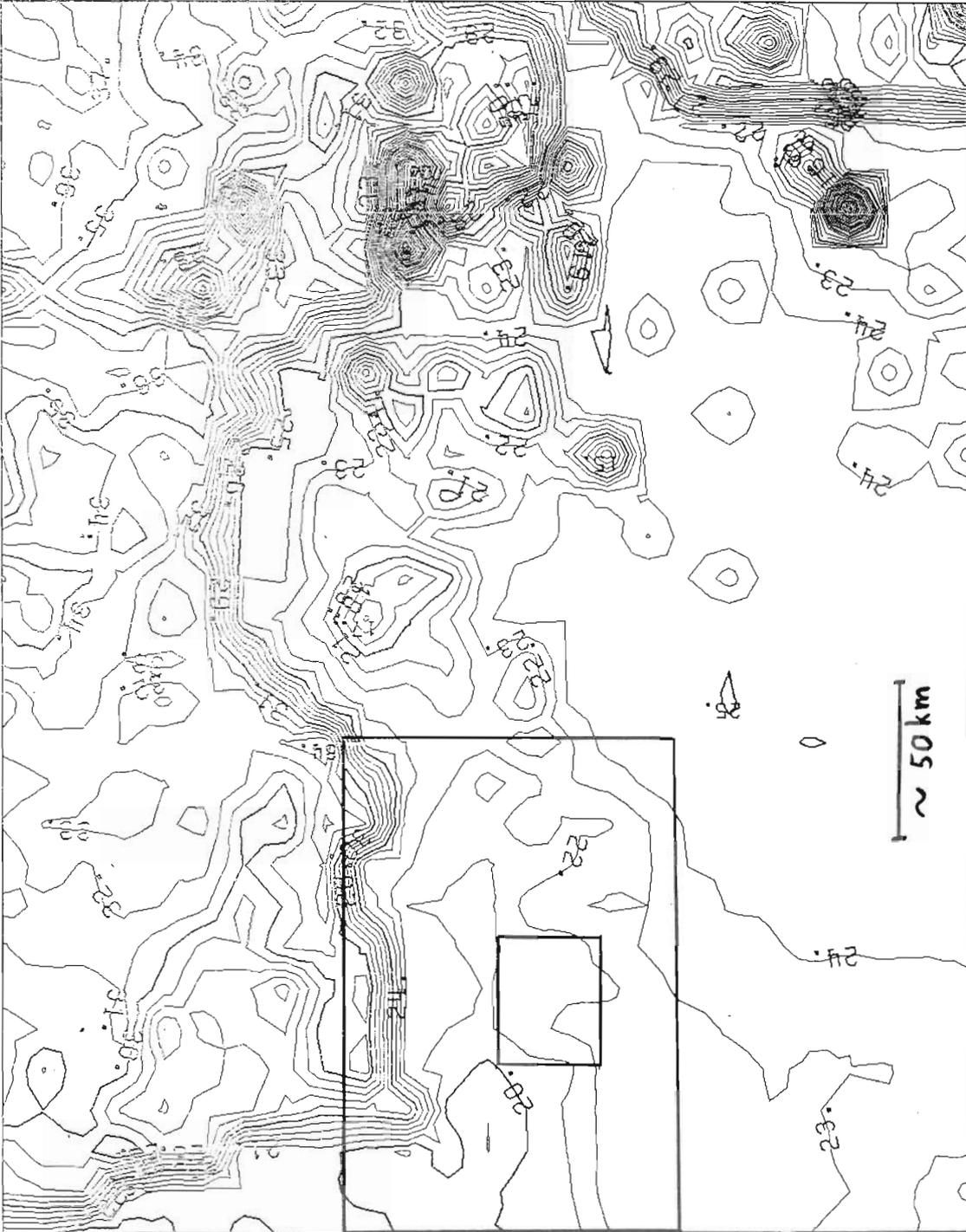


FIGURA 1

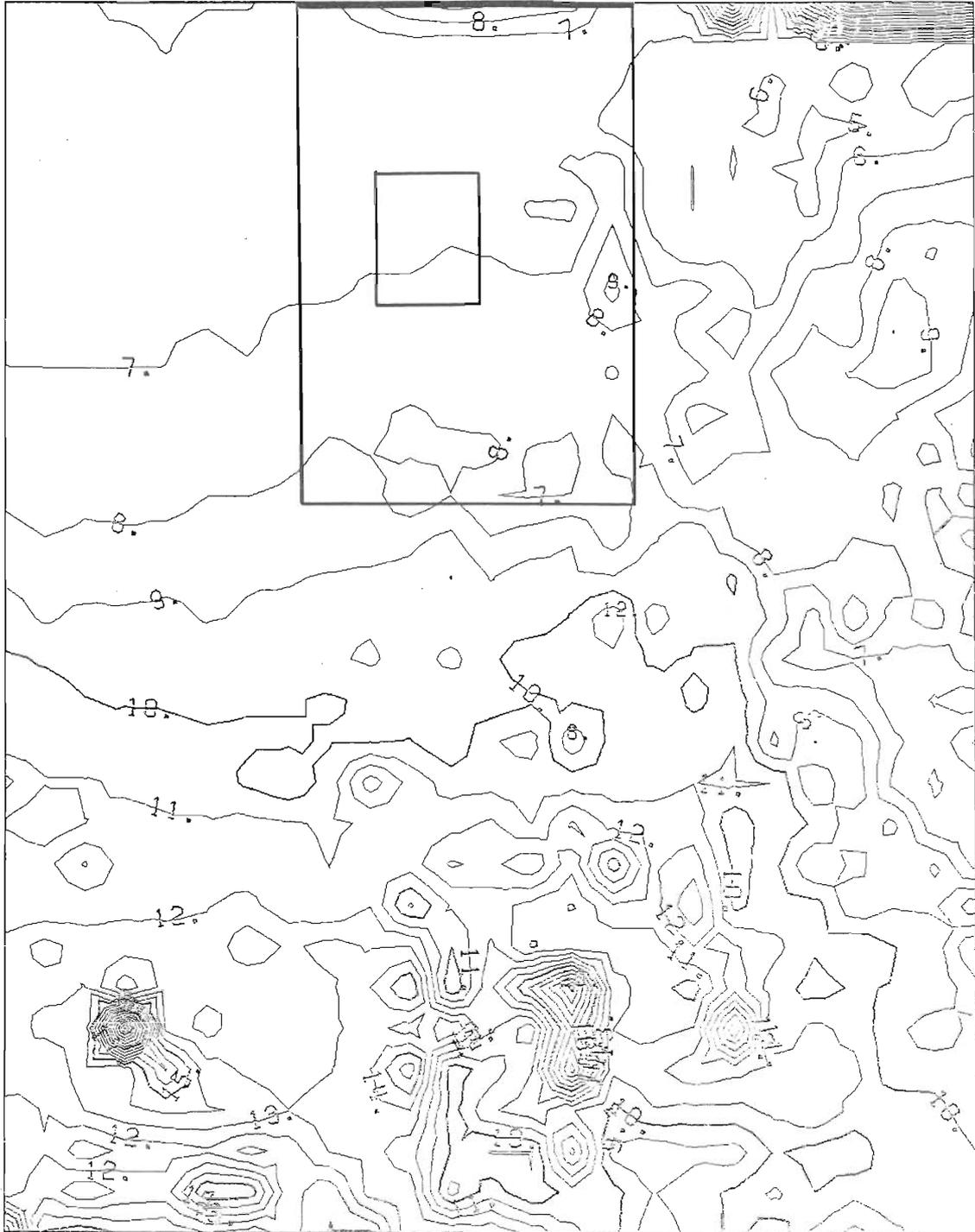


FIGURA 2

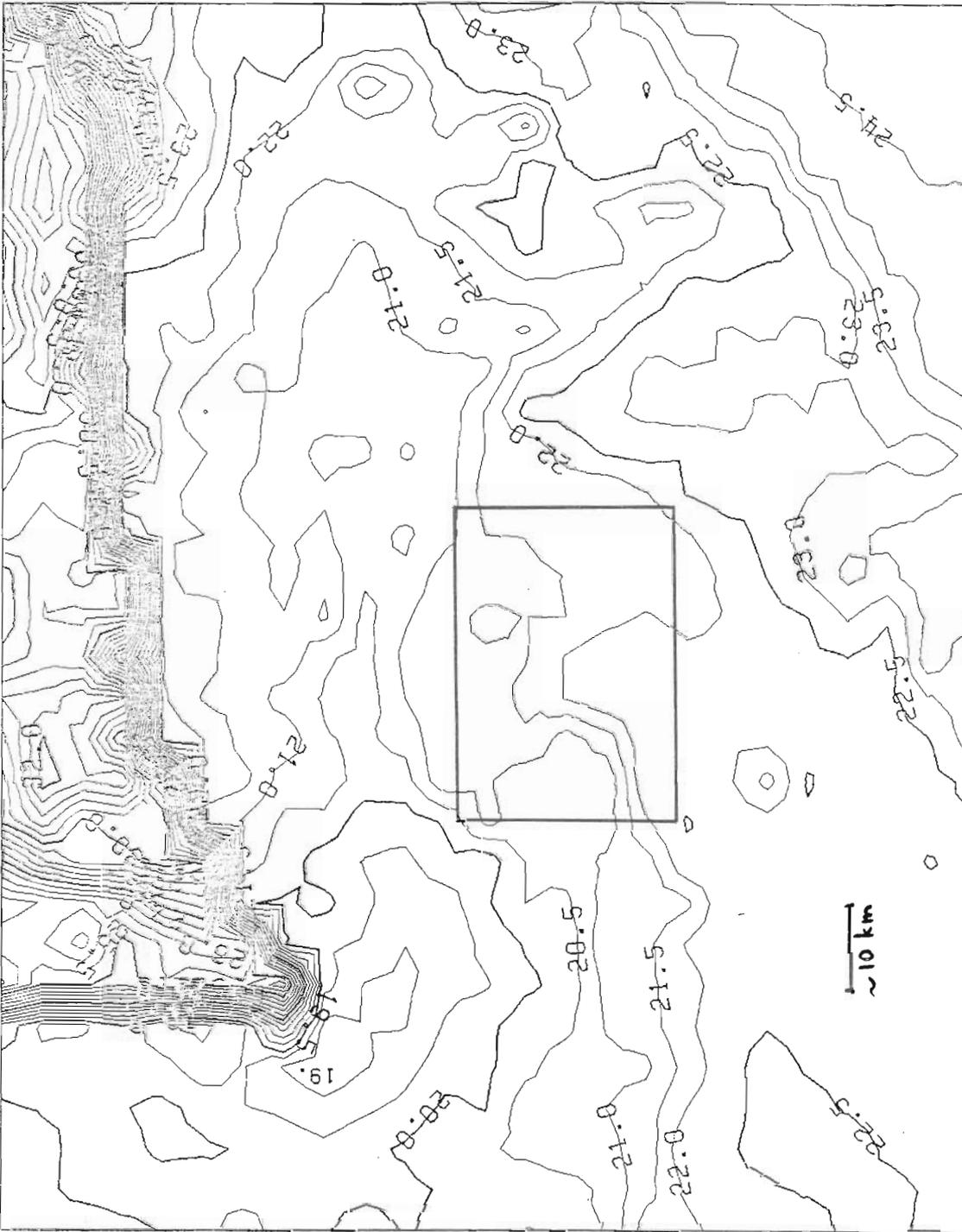


FIGURA 3

