

ESTUDIO DE LAS AGUAS DEL LITORAL DESDE PLATAFORMA AÉREA

J. JORGE, J.A. CUSIDO Y J. PUIGDOMENECH
Dep. de Meteorología i Ciencia del Sol. Universitat politècnica de Catalunya.
Barcelona

RESUMEN

Se muestran dos estudios llevados a cabo en el campo de la vigilancia del medio ambiente marino mediante la utilización de un sistema de termografía montado en una plataforma aérea. Se describe la metodología utilizada y se discuten algunas ventajas y desventajas de la misma frente a otras técnicas aplicables con los mismos objetivos.

ABSTRACT.

In this work we show the results of two studies about the surveillance of the marine environment field by means of the use of thermographic analysis from an airborne survey. The used methodology is described and some advantages and disadvantages in front of other techniques with similar aims are discussed.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, y ligado al impulso de nuestra entrada en la CEE, se ha desvelado un creciente interés en relación a la degradación del medio ambiente marino. El interés por la preservación de las aguas marinas, además de ser un bien innato para nuestra especie humana, recalca tanto en la importante industria turística nacional como en la creciente industria de acuicultura. El conocimiento del comportamiento de las aguas de nuestro litoral ha de permitir el avance de tales industrias.

Las complejas interacciones entre los diferentes tipos de procesos en el medio ambiente -hidrodinámicos, físicos, químicos, biológicos, etc.- sólo pueden ser interpretados, analizados y previstos con la suficiente aproximación mediante modelos matemáticos.

Estos modelos se basan en la experiencia y la información detallada conseguida mediante:

- a) la incorporación de un trazado en los abocamientos de aguas residuales y el estudio de sus movimientos y mezcla;
- b) la medida, el registro y el análisis detallado de las corrientes de agua;
- c) el desarrollo continuo de modelos matemáticos;
- d) estudios especiales de la calidad del agua y ecológicos de forma más detallada en el entorno de las fuentes de descarga;
- e) la adecuación de los modelos a la planificación práctica y gestión de la calidad del agua futuras.

La Figura 1 muestra el diagrama correspondiente a las interacciones principales entre circulación, transporte y calidad del agua que deben ser considerados en los modelos matemáticos que prevén los efectos en el medio ambiente (EIA, 1990).

Una de las técnicas utilizadas en la medida desde plataforma aérea de la temperatura de superficie del mar, como va-

riable a tener en cuenta, consiste en la observación de la temperatura aparente en la ventana del vapor de agua de 3 a 5,6 μm , ó de 8 a 13 μm , sobre regiones con condiciones de cielo despejado.

En este trabajo se exponen dos experiencias llevadas a cabo sobre las aguas del litoral catalán empleando las mismas técnicas pero con objetivos distintos. En primer lugar se refiere a la metodología seguida, y a continuación, se presentan ambas experiencias: confección de un mapa térmico del litoral del Delta del Ebro y, detección y análisis de la interacción entre la superficie marina y el penacho contaminante procedente de un emisario submarino en la Costa Brava.

2. METODOLOGÍA UTILIZADA

En las dos experiencias que se presentan se ha seguido una metodología similar mediante la instrumentación y el tratamiento de imágenes que se describen en los siguientes apartados.

2.1. Instrumentación.

El montaje experimental utilizado se muestra en la Figura 2. Pueden diferenciarse los siguientes elementos: cámara videogradora, cámara termográfica, botella de argón, procesador, monitor, magnetoscopio y ondulator.

Un primer problema, resuelto mediante un ondulator, fue la conexión a la batería de c.c. del avión de instrumentación que requiere una alimentación eléctrica de c.a.

El equipo de termografía infrarroja utilizado es de la marca Hughes Aircraft Corporation, modelo Probeye TVS-3300, cuyas características más significativas se reproducen en la Tabla 1.

Frente a las ventajas de trabajar con la banda 8-13 μm , entre otras el poder realizar observaciones tanto de día como de noche, con un ruido equivalente de temperatura bas-

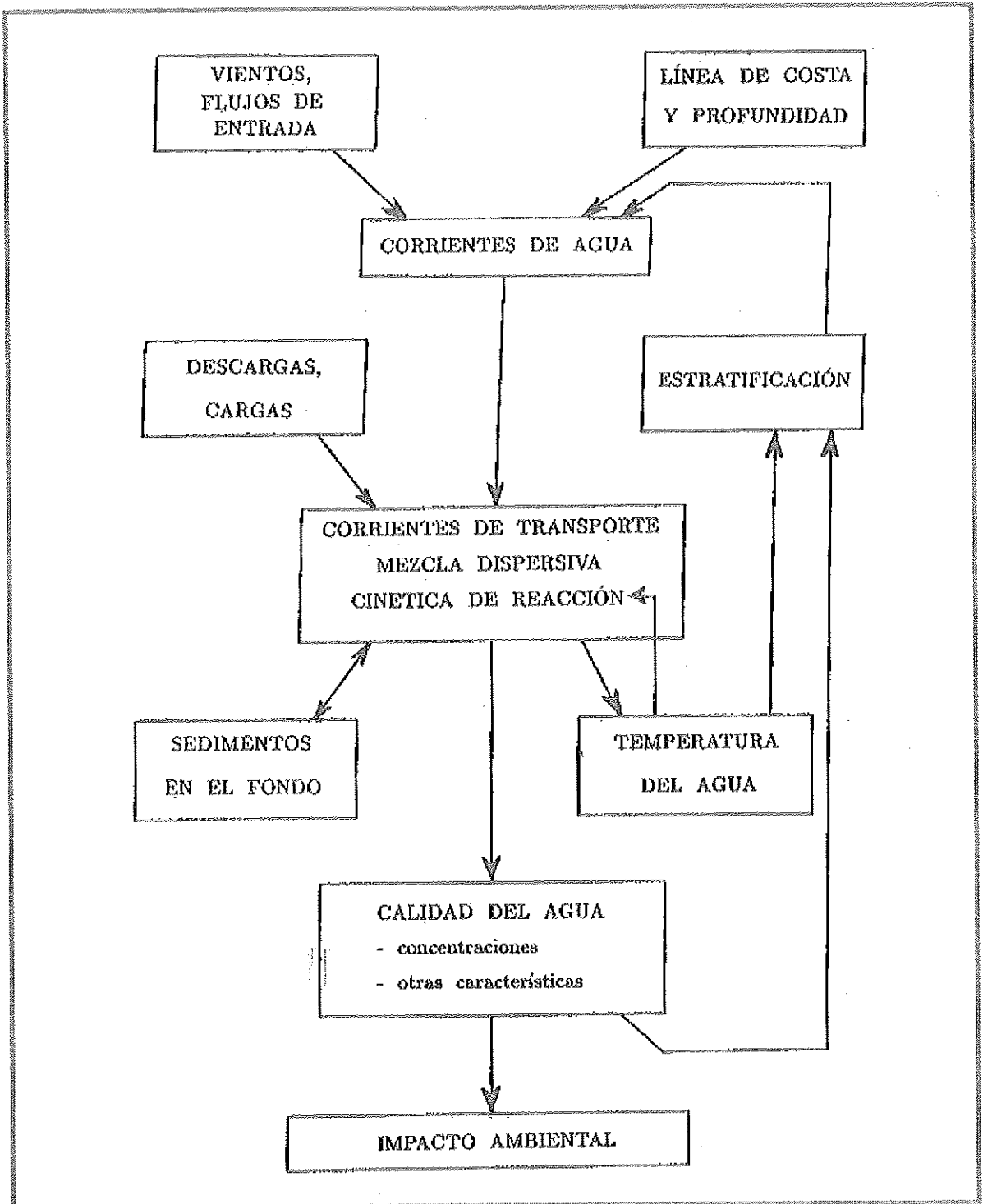


Figura 1.- Interacciones entre circulación, transporte, calidad del agua y efectos en el medio ambiente.

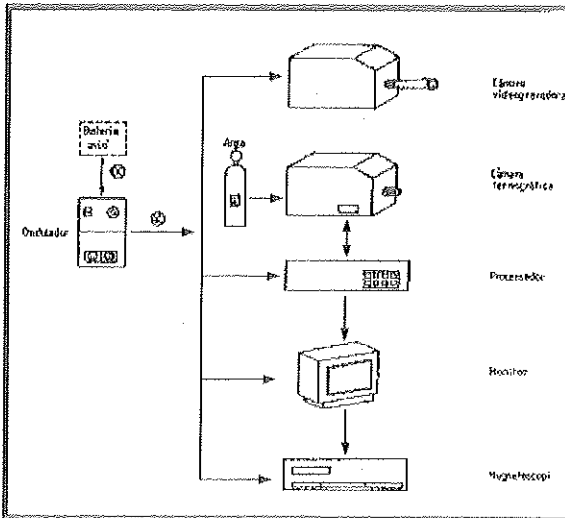


Figura 2.- Montaje industrial.

tante bajo, los imperativos instrumentales han obligado a trabajar en la banda 3-5,6 μm e incorporar un filtro solar a la cámara termográfica.

Tabla 1.- Principales características del Sistema de Termovisión Probye 3300.

Detector: material	InSb
Detector: elementos	10 activos
Sistema de refrigeración:	criostato Joule Thompson
Refrigerante:	gas argón presurizado
Intervalo de emisividades:	0,1 a 1,0 (incr. 0,01)
Memoria:	256 x 100 x 4 bits
Resolución en pantalla:	200 líneas (interpoladas a partir de 100 líneas IR)
Señal de salida de video:	PAL y RGB/RS-170
Campo de visión:	10° vertical x 15° horizontal
IFOV:	2,18 mrad (0,128°)
Sistema de barrido:	rotatorio de 10 espejos
Rango espectral:	2,0 a 5,6 μm
Rango de temperaturas:	-40°C a 280°C
Sensibilidad:	0,1° C.

De forma simultánea y en paralelo a los registros termográficos, se registró la misma información, mediante una cámara videogradora comercial, correspondiente a la banda 0,37-1,1 μm en sistemas Super VHS.

En el laboratorio de imagen se ha utilizado dos sistemas básicos independientes, basados en PC + tarjeta digitalizadora, y que han permitido digitalizar tratar las escenas registradas en señal de video compuesto.

2.2. Condiciones experimentales.

En la experiencia sobre el Delta del Ebro, el estudio termográfico se llevó a cabo el 21 de diciembre de 1989. En los

días anteriores el cielo presentaba una nubosidad variable y vientos de cierta consideración que dejaron paso a una situación meteorológica correspondiéndose con una zona de altas presiones centrada en Túnez. Esta situación provocó una relativa inversión térmica, vientos flojos del interior y nieblas que desaparecieron por la mañana a lo largo de las costas de Tarragona, resultando un cielo claro en el momento de la toma de imágenes y un estado del mar idóneo para este tipo de estudios (Davies, 1985).

La temperatura ambiente se situaba alrededor de los 18°C en el momento de la experiencia, mientras que la temperatura de superficie del agua del mar oscilaba entre 12,7 y 14,5°C. Esta última fue medida en 9 puntos de la zona sur del Delta, concretamente en la Badia dels Alfacs, con objeto de que sirvieran de calibrado del sensor.

El servicio de termografía aérea llevado a cabo en la Costa Brava se realizó los días 6 de agosto de 1990 y 12 de febrero de 1991, correspondiéndose con las épocas de verano e invierno, respectivamente. Al igual que en el Delta del Ebro, el vuelo se realizó a 1000 metros de altitud, con dos pasadas paralelas a la línea de costa y entre sí (Figura 3), una en sentido ascendente y otra descendente, con una área de solapamiento entre las imágenes tomadas, con objeto de facilitar la composición de las diferentes escenas.

En este caso tan sólo se utilizaron dos puntos de control, y una parte del recorrido previsto debió suspenderse por la presencia de nubes bajas los dos días de registro.

En ambos casos, los datos verdad-terreno obtenidos constataron que la temperatura aparente, medida desde la plataforma aérea sobre el mar libre de nubes, es menor que la temperatura de superficie del mar, a causa de la no nula absorción por parte del vapor de agua (Katsaros, 1980). En el caso presente, dada la altura de vuelo y la información in situ no se ha considerado importante ni necesario aplicar este tipo de corrección.

2.3. Tratamiento de las imágenes.

En el laboratorio se ha realizado el tratamiento de las imágenes visibles e infrarrojas registradas en señal de video compuesto VHS. Se ha seguido algunas pautas específicas recogidas en la bibliografía (Schott, 1989) además de las operaciones estructurales habituales. En particular:

- evaluación y corrección del sincronismo entre las imágenes visibles y las imágenes infrarrojas;
- localización de los puntos de control;
- selección de "frames" a digitalizar y digitalización;
- suavización de las imágenes y realce de bordes;
- determinación de los parámetros de interés (isolíneas, ejes, perímetros, etc.);
- composición de "frames" digitalizados;
- registro de salida de la información en soporte gráfico y de video.

3. EXPERIENCIAS EN EL DELTA DEL EBRO

Todos los expertos indican que el Delta del Ebro es la zona

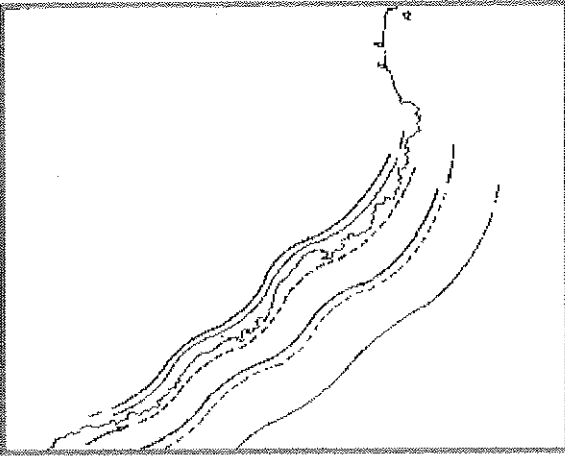


Figura 3.- Metodología del recorrido aéreo.

del litoral catalán potencialmente más adecuada para el cultivo de especies marinas, especialmente las Bahías del Fangar y de Los Alfaques (Dep. d'Indústria i Energia, Generalitat de Catalunya, 1988).

La región costera del Delta del Ebro, al situarse en el Mediterráneo, presenta una inexistencia práctica de la zona intermareal (Alcaraz, 1985), pues en ella las mareas son del orden de los 10 cm y no ocasionan corrientes que afecten al dinamismo próximo a la costa. Este dinamismo es favorecido en las costas por vientos locales de corta duración, llegando difícilmente a producir afloramientos de nutrientes dado que en las capas inferiores costeras el agua no es rica en ellos. Sólo grandes ventadas, como el Mistral, pueden hacer aflorar el agua localmente a pesar de que soplen de tierra hacia el mar y no de dirección paralela a la línea de costa.

La Figura 4 presenta el mapa de profundidades de la zona, y la localización de los puntos de control utilizados en la toma de medidas verdad-terreno.

3.1. Objetivos de la experiencia.

En cualquier planificación empresarial la selección del lugar adecuado es primordial, de tal manera que si no resulta conveniente, la empresa está destinada al fracaso aunque la tecnología sea lo suficientemente válida desde los puntos de vista científico y tecnológico. Por ello, en el caso de la acuicultura, más allá de un perfecto conocimiento de las características biológicas de cada especie, es necesario conocer el medio físico donde se produce cada una de las diferentes fases (fresa, larvación, engorde y maduración) del proceso productivo.

En este sentido, las condiciones del medio físico hacen referencia muy especialmente a la temperatura, salinidad, pH, concentración de oxígeno, así como de nutrientes, materia orgánica, metales pesados, etc., que definirán una calidad de agua a menudo relacionada con la dinámica marina del litoral.

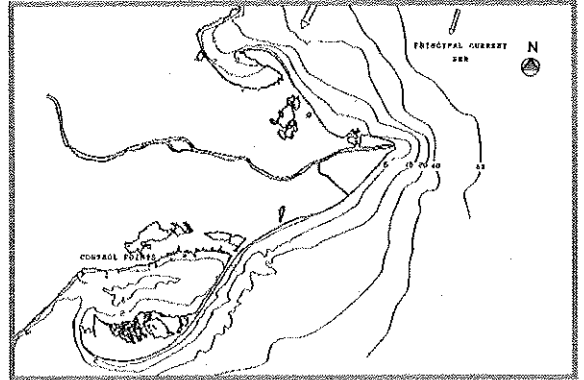


Figura 4.- Mapa de profundidades y puntos de control.

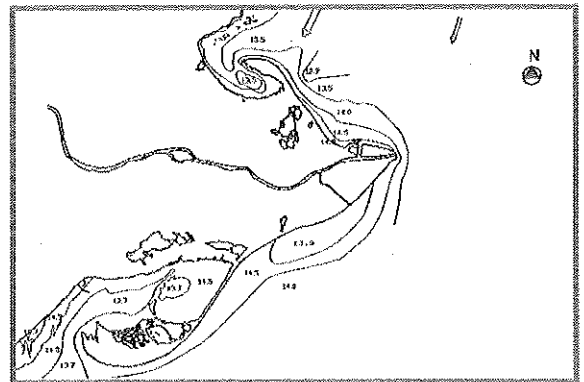


Figura 5.- Mapa térmico del Delta del Ebro (21/12/89).

Por todo ello, el objetivo global ha sido el proporcionar un mapa térmico de las aguas del Delta del Ebro, con finalidad práctica en acuicultura, el cual ha sido superpuesto a los resultados de otras investigaciones (mapa de corrientes marinas locales, mapa de distribución de clorofila) con numerosas coincidencias a estudiar.

Como elementos a discernir, dentro del mapa térmico, debían diferenciarse posibles afloramientos y la separación de aguas dulces, procedentes de los canales de riego y del propio río, de las aguas marinas.

3.2. Resultados.

La codificación de las isotermas grafadas sobre el mapa termográfico de la Figura 5 se ha realizado tras la digitalización de más de 500 imágenes y la corrección (de + 2,7°C), debido a las lecturas de temperatura realizadas en los puntos de control seleccionados. En el mapa térmico no se han grafado diferencias menores o iguales a 0,4°C a pesar de haberse detectado instrumentalmente. El margen de error no acumulado se ha estimado en el 10%.

Algunos de los aspectos a remarcar del mismo mapa son los siguientes (Cusidó, 1991):

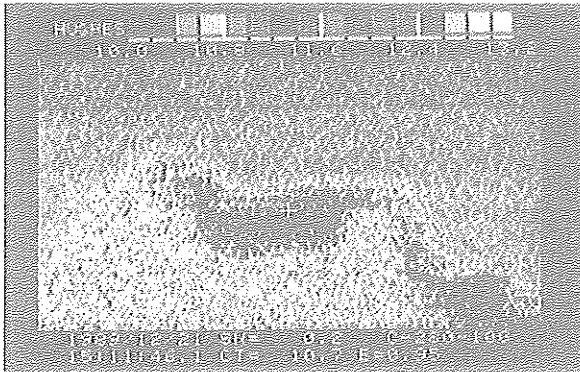


Imagen 1.- Afloramiento de aguas frías en el litoral del Delta del Ebro. Véase Anexo de color.

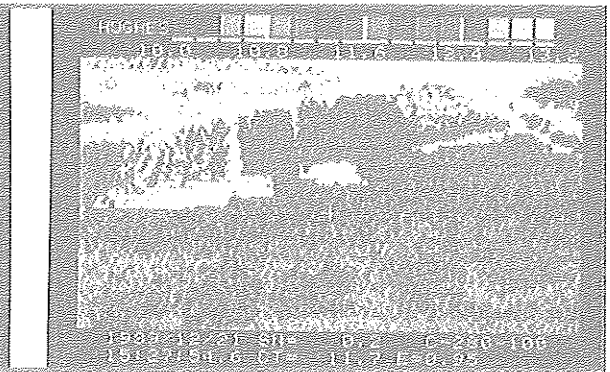


Imagen 2.- Termograma de las aguas de la Bahía de Los Alfaques (pueden distinguirse las mejilloneras). Véase Anexo de color.

- Presencia de aguas más frías en la zona norte (Golfo de San Jordi, hasta la desembocadura principal del río Ebro), con una distribución llana de las aguas cálidas del río, debido probablemente a la acción de la corriente marina costera de norte a sur.
- Presencia de núcleos fríos cerca del litoral del Cap Roig en dirección a la Ampolla a menos de 2 km de la costa (Imagen 1), y presencia de una masa considerable fría a 300 metros por encima de la Gola del Pall.
- Desde el Cap Tortosa, Gola Sud, Platxola hasta la Costa de Fora se presenta un paralelismo con la profundidad. Destaca la estructura lenticular que adoptan las aguas de la desembocadura, relacionada con la corriente marina costera, aquí más acusada.
- En el interior de la Badia dels Alfaques es posible determinar estructuras dentríficas correspondientes a la mezcla de aguas costeras con las procedentes de los canales, siendo las diferencias máxima del orden de 1°C correspondiéndose aproximadamente con la profundidad y la penetración de aguas externas. En el lado de las piscifactorías y mejilloneras es fácil observar diferencias de $0,5^{\circ}\text{C}$ como la detectadas por las medidas puntuales efectuadas desde barca (Imagen 2).

4. EXPERIENCIA EN LA COSTA BRAVA

La problemática suscitada últimamente sobre la calidad de las aguas marinas de nuestras costas comporta la vigilancia de las emisiones de aguas residuales al mar, así como su dispersión. Un 90% de la contaminación es debida a los vertidos urbanos, agrarios e industriales de los cuales el 86% es abocado por los ríos al mar y el resto mediante emisarios submarinos y abocamientos directos.

Los gestores de los sistemas de saneamiento de las aguas residuales necesitan de una monitorización que les permita conocer la localización precisa y las características de tales descargas.

4.1. Objetivos de la experiencia.

Dentro de un contexto general, el objetivo de la experiencia

está dedicado al conocimiento de la calidad de las aguas del litoral a través del uso de nuevas técnicas de monitorización, que puedan contribuir a la mejora de la tecnología a aplicar en el tratamiento y eliminación de las aguas residuales a través de emisarios submarinos.

Un objetivo práctico es incorporar la información obtenida, a modo de condición de contorno, en los modelos tridimensionales de dispersión de contaminantes. En particular, el objetivo persigue el estudio de la dirección de propagación del penacho resultante de la emisión de aguas residuales a través de un emisario submarino, llegando a discernir sobre la idoneidad de las características del diseño del propio emisario.

4.2. Resultados.

La dificultad de simultanear los servicios aéreos de termografía con las emisiones puntuales de la red de saneamiento, han conducido esta experiencia más a controlar qué dificultades presenta esta técnica de monitorización y cual es el tratamiento más idóneo de las imágenes resultantes.

La Imagen 3 muestra la interacción entre la superficie del mar y el penacho procedente de un emisario localizado a 300 metros de la línea de costa. Puede observarse, pese a la apariencia más o menos circular, el predominio de una dimensión con una dirección casi perpendicular a la playa más próxima y con una expansión mar a dentro. Se deduce un diseño apropiado del emisario en condiciones de mar tranquila.

La Imagen 4 presenta uno de los pasos intermedios del tratamiento al que se ha sometido otra escena en la que se detectó la presencia de emisiones submarinas. Se dibujan sobre la imagen las isolíneas de temperatura aparente con mayor gradiente, el eje principal y la orientación geográfica.

En la experimentación realizada también se ha observado la enorme influencia de los ríos en la direccionalidad de distribución de las aguas residuales que transporta. Se han constatado situaciones de degradación de las aguas de algunas playas, de municipio con un buen comportamiento de los emisarios correspondientes, por acción de los ríos.

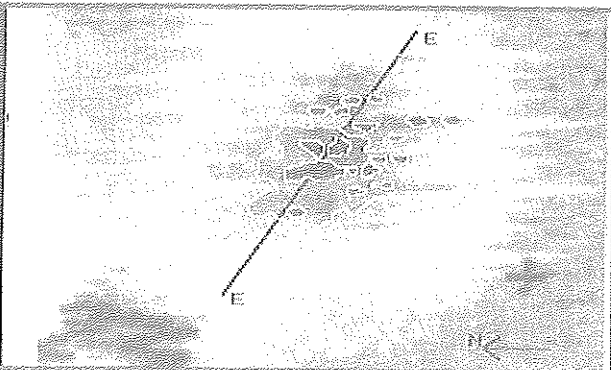
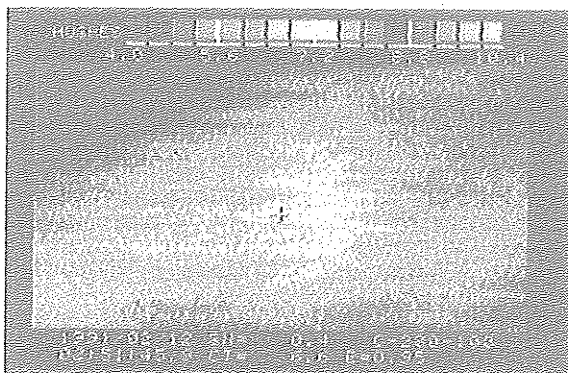


Imagen 3.- Localización en superficie del penacho procedente de una emisión de aguas residuales. Véase Anexo de color.

Imagen 4.- Isolneas y eje principal de una interacción superficie del mar-penacho de aguas residuales. Véase Anexo de color.

5. CONCLUSIONES

El análisis de las imágenes ha comportado entre otras las siguientes conclusiones:

- 1) la técnica presentada permite detectar la presencia de afloramientos de aguas frías;
- 2) constatando los resultados obtenidos con otras experiencias, se ha observado una correlación entre el mapa térmico, el mapa de distribución de la clorofila y el modelo empírico de corrientes marinas en la bahía de los Alfaques, donde se hallan emplazadas un elevado número de mejilloneras;
- 3) el mayor impacto ambiental en las aguas del litoral procede de los ríos y se restringe a las áreas próximas a sus desembocaduras;
- 4) idóneo alejamiento de la costa de los efluentes lanzados al mar mediante algunos emisarios submarinos;
- 5) adecuación de la aplicación de la técnica de termografía desde plataforma aérea en combinación con información visible y sobre el terreno, para la vigilancia del estado de los sistemas acuáticos; y
- 6) necesidad de potenciar estas técnicas lo suficientemente rápidas como para ayudar a una gestión eficaz del medio ambiente.

6. AGRADECIMIENTOS

Estos estudios han sido posibles gracias a la financiación del Institut d'Estudis Catalans (IEC) y del Consorci de la Costa Brava (contrato C-1183-90 con la Universitat Politècnica de Catalunya). El equipo instrumental ha sido adquirido gracias a la Comisión Interministerial de Ciencias y Tecnología (Acció Especial NAT90-1284-E).

7. BIBLIOGRAFIA

- ✓ ALCARAZ, M. et al. (1985): *L'oceanografia*. Quaderns d'Ecologia Aplicada n° 8. Diputació de Barcelona. Madrid.
 - ✓ CUSIDÓ, J.A. et al. (1991): Aerial IR studies of the Delta de l'Ebre coast. *Int. J. Remote Sensing* (en prensa).
 - ✓ DAVIES, P.A. et al. The application of remote sensing techniques to the monitoring of a sea outfall system. *Int. J. Remote Sensing*, 6.: 967-973.
 - ✓ DEPARTAMENT D'INDUSTRIA I ENERGIA, GENERALITAT DE CATALUNYA (1988): Estudio sobre el aprovechamiento de acuíferos de baja temperatura en el Delta del Ebro y el Empordá para piscicultura marina. En *Tecnología y Recursos de la Tierra*. Departament d'Industria i Energia, Generalitat de Catalunya. Barcelona.
 - ✓ EIA (1990): Main interactions between circulation, transport, water quality and the environmental effects. En un documento interno. Helsinki.
 - ✓ KATSAROS, K. (1980): Radiative Sensing of Sea Surface Temperature. En *Air-Sea Interaction: Instruments and Methods*, 16: 293-317. Plenum Press. New York.
 - ✓ SCHOTT, J.R. (1989): Image Processing of Thermal Infrared Images. *Photogram. Eng. & Remote Sensing*, 55: 1311-1321.
-