



T
551.46
Z 24

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar

**“METODOLOGIA PARA EL TRATAMIENTO DE LAS
IMAGENES DEL SATELITE LANDSAT CON FINES A LA
DETERMINACION DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL
DEL AGUA : CASO GOLFO DE GUAYAQUIL”**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

OCEANOGRAFA

Presentada por:

LEILA ELIZABETH ZAMBRANO ZAVALA

GUAYAQUIL - ECUADOR

1.997



AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar por los conocimientos impartidos a través de sus profesores.

A la ING. Pilar Icaza Olvera Directora de Tesis, por su ayuda, dedicación y valiosa colaboración logística y académica para la realización de este trabajo.

A "J" Torres por su constante ánimo para seguir adelante.

Al Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN) por haber proporcionado la información, y por las facilidades brindadas para la elaboración de este trabajo.



DEDICATORIA

A:

Dolores

Laura

Ines y

Pastora

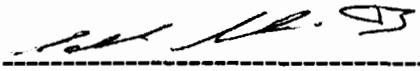
DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”.

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL)

A handwritten signature in black ink, reading "Leila Elizabeth Zambrano Zavala", written over a horizontal line.

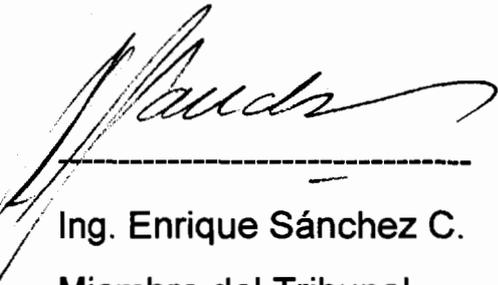
Leila Elizabeth Zambrano Zavala



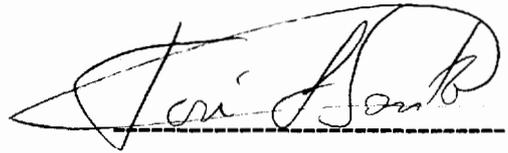
Ing. Eduardo Cervantes B.
Presidente del Tribunal



Ing. Pilar Icaza Olvera
Directora de Tesis



Ing. Enrique Sánchez C.
Miembro del Tribunal



Dr. José Luis Santos
Miembro del Tribunal

RESUMEN

El sensor TM de los satélites LANDSAT posee un canal térmico que permite obtener información sobre la temperatura superficial de los cuerpos de la superficie terrestre, pero para lograr este objetivo hace falta calibrar las imágenes producidas por este sensor, por lo cual en el presente trabajo se desarrolla la metodología para realizar dicha calibración, para obtener las temperaturas superficiales de las aguas del Golfo de Guayaquil y analizar las condiciones oceanográficas presentes en la imagen resultante.

La calibración de la imagen se hizo utilizando la fórmula de Planck estimando la influencia atmosférica presente en la misma, para lo que fueron utilizados algunos datos recopilados en sitios representativos del área en una época y hora similar a la del pase del satélite.

La imagen utilizada corresponde a la estación lluviosa y a un año normal (Abril/91), esta fue comparada con las normales de la temperatura superficial del área para dicha estación, deduciéndose una gran similitud en los dos casos,

pudiendo entonces la imagen resultante ser tomada en lo posterior como un patrón del comportamiento normal de la temperatura superficial del área de estudio para el período lluvioso.

Simultáneamente, se analiza la imagen resultante con el objeto de estimar su validez en la detección de fenómenos oceanográficos de importancia como ser los frentes térmicos, zonas de afloramientos y corrientes, habiendo éstos sido observados en forma nítida, por cuyo motivo el procedimiento seguido en este trabajo puede aplicarse a estudios de evolución de éstos fenómenos.

PALABRAS CLAVES

Golfo de Guayaquil, Teledetección, Temperatura Superficial, Canal Térmico, Sensor TM - LANDSAT, Calibración Canal Térmico.

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN -----	VI
INDICE GENERAL -----	VIII
INTRODUCCION -----	12
I. DESCRIPCION GENERAL DEL AREA DE ESTUDIO -----	14
1.1.- Localización -----	14
1.2.- Características generales -----	15
1.3.- Características Oceanográficas y Climatológicas -----	17
1.3.1.- Temperatura -----	17
1.3.2.- Mareas -----	18
1.3.3.- Clasificación del estuario -----	19
1.3.4.- Circulación del agua -----	19
1.3.4.1.- Estuario Interior -----	19
1.3.4.2.- Estuario Exterior -----	20
1.3.5.- Interacción de las aguas del Golfo de Guayaquil con las Aguas Oceánicas mar afuera -----	21
1.3.5.1.- La Corriente de Humbolt o del Perú -----	21
1.3.5.2.- La Corriente del Niño -----	23
1.3.5.3.- La Subcorriente Ecuatorial -----	24
1.3.6.- Fenómenos Oceanográficos de importancia en la región -----	24

1.3.6.1.- El Fenómeno de El Niño o Evento ENSO --	24
1.3.6.2.- Frente Ecuatorial -----	27
1.3.7.- Climatología -----	29
II. FUNDAMENTOS TEORICOS -----	31
2.1.- Fundamentos de la Observación Remota -----	31
2.2.- Interacción de la Atmósfera con la Radiación	
Electromagnética -----	32
2.2.1.- Leyes de las Propiedades de la Radiación	
Electromagnética -----	32
2.2.2.- Perturbaciones Atmosféricas -----	35
2.2.2.1.- Absorción -----	35
2.2.2.2.- Dispersión -----	37
2.3.- Espectro Electromagnético -----	39
2.4.- Dominio del Infrarrojo Térmico -----	42
2.4.1.- Características del Infrarrojo Térmico (IRT) -----	43
2.4.2.- El agua en el dominio Térmico -----	45
2.4.3.- Determinación de la Temperatua Superficial del Mar	46
III. SISTEMAS SATELITARIOS -----	50
3.1.- Tipos de Sistemas -----	50
3.1.1.- Satélites Geoestacionarios -----	51
3.1.2.- Satélites Orbitales -----	52

3.2.- Sensores -----	53
3.3.- Características principales de las Imágenes de Sensores	
Remotos -----	55
3.4.- Sistema LANDSAT -----	56
3.4.1.- Características Orbitales -----	57
3.4.2.- Instrumentos de Observación -----	58
3.4.2.1.- Sensor MSS (Multispectral Scanner) -----	59
3.4.2.2.- Sensor TM (thematic Mapper) -----	59

I V. INTERPRETACION DIGITAL DE LAS IMAGENES EN

TELEDETECCION -----	62
4.1- Conceptos Básicos -----	63
4.1.1.- Imagen -----	63
4.1.2.- Principios de Visualización -----	64
4.1.3.- Principales Características de una Imagen -----	66
4.2.- Pretratamiento de una Imagen -----	67
4.2.1.- Correcciones Geométricas -----	68
4.2.2.- Correcciones Radiométricas -----	68
4.3.- Tratamiento de una Imagen -----	69
4.3.1.- Realce de la Imagen -----	69
4.3.2.- Clasificación Multiespectral -----	73

V. MATERIALES Y METODOS ----- 74

5.1.- Materiales -----	74
------------------------	----

5.2.- Métodos -----	75
V I. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ---	85
6.1.- Resultados -----	85
6.2.- Análisis de Resultados -----	86
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	89
- Conclusiones -----	89
- Recomendaciones -----	93
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS -----	95
BIBLIOGRAFIA -----	96
ANEXOS -----	99

INTRODUCCION

El área del Golfo de Guayaquil es considerada como una de las más productivas de toda la costa sudamericana del Pacífico, ya que aquí se conjugan varios factores que hacen posible una elevada productividad primaria y por ende el desarrollo de toda la cadena trófica.

Frente a este Golfo ocurren fenómenos oceanográficos de importancia como son la convergencia de aguas cálidas de baja salinidad provenientes del norte y de las aguas frías de alta salinidad provenientes del sur originándose así el denominado "frente ecuatorial" ; y la convergencia de las aguas provenientes de los ríos que desembocan en este golfo con las aguas marinas lo que originan un frente estuarino.

El estudio o seguimiento de las condiciones oceanográficas de la región se realiza principalmente a través de datos recogidos en cruceros oceanográficos organizados para este efecto o en buques de oportunidad, así como en estaciones fijas que se ubican en la zona costera. Los altos costos que implican los cruceros oceanográficos hacen que éstos se realicen con poca

periodicidad por lo cual es necesario disponer de otros medios que permitan realizar un seguimiento continuo de estas condiciones.

En la actualidad el Ecuador cuenta con una estación de recepción, grabación y procesamiento de información del sensor TM de los satélites LANDSAT, lo que hace posible la recepción de imágenes que permiten obtener información de la temperatura superficial del mar, no solo en tiempo real sino también en forma sinóptica.

La obtención de la temperatura superficial del mar a través de imágenes satelitarias debe pasar por una fase de calibración, debido a la influencia atmosférica que falsea la información en ellas contenidas. Para determinar la influencia atmosférica generalmente se usan datos "In Situ" tomados simultáneamente con el pase del satélite o en condiciones similares.

La calibración de las imágenes satelitarias permite obtener la temperatura superficial del mar y ubicar claramente los fenómenos oceanográficos de importancia como son los frentes térmicos, zonas de afloramientos y corrientes marinas. Así mismo, debido a la periodicidad del pase del satélite, pueden obtenerse imágenes de este tipo cada 18 días, por lo cual es posible realizar un seguimiento continuo de la evolución térmica de las aguas de la región, y poder detectar situaciones anómalas de manera oportuna.

CAPITULO I

DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

1.1 LOCALIZACION

El Golfo de Guayaquil es el estuario más grande de la costa sudamericana del Pacífico.

Este se extiende desde los 2°12' hasta los 4°07' de latitud sur y desde el meridiano 81°W penetra en el litoral ecuatoriano una distancia aproximada de 120 Km. (Figura 1).

La entrada al Golfo tiene una extensión aproximada de 200 Km. contados desde la Puntilla de Santa Elena en Ecuador hasta cerca de Máncora en Perú.

El límite sur de las aguas ecuatorianas del Golfo está demarcado por el paralelo 3°23' S ; por lo tanto la superficie del área total considerada es 64.190 Km² (CAAM, 1995).

Las aguas del Golfo de Guayaquil están directamente influenciadas por sistemas hídricos de gran importancia como son el de los ríos Guayas, Jubones, Naranjal, Boliche y Arenillas.

Los canales interiores del Golfo de Guayaquil se emplazan en zonas cubiertas por manglares que son el corazón mismo del estuario ya que en ellos las larvas de casi todas las especies se convierten en juveniles sirviendo luego de abasto para la pesca comercial.

1.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES

Una de las características principales del Golfo de Guayaquil constituye la Isla Puná, la cual actúa como una barrera natural que divide al Golfo en dos secciones: el estuario exterior que se origina en el lado occidental de la Isla Puná ($80^{\circ}15' W$) prolongándose hasta el meridiano $81^{\circ}W$, y el estuario interior, que se extiende desde el mismo extremo occidental de la Isla Puná en dirección noreste incluyendo el sistema de Ramales del Estero Salado y del Río Guayas.

La Isla Puná divide además el estuario en dos canales: el Canal del Morro con una anchura promedio de 3 Km., que conecta el estuario

exterior con el Estero Salado, a través del cual se llega al Puerto Marítimo de la ciudad de Guayaquil y el Canal de Jambelí de ancho variable entre 11 y 28 Km. que conecta dicho estuario con el Río Guayas, a través del cual se llega a la ciudad de Guayaquil, aunque por la dinámica sedimentaria de la zona, la navegación por este canal presenta restricciones para la navegación de los buques que acceden al Puerto de Guayaquil por esta vía.

Por su ubicación, el Golfo está expuesto a la influencia oceánica determinada por la convergencia del agua tropical cálida de baja salinidad procedente del norte y el agua subtropical fría y de alta salinidad proveniente del sur.

El Golfo de Guayaquil constituye no sólo el estuario más grande de la costa sudamericana del Pacífico sino también la unidad ambiental más rica de la costa sudamericana del Pacífico debido a varios factores favorables que se conjugan en él como son:

- a) La presencia de manglares en todos los bordes del estuario que fertilizan sus aguas

- c) La influencia de varias corrientes marinas, principalmente la de Humbolt rica en contenido de nutrientes
- d) La presencia de masas de agua de diferentes características que convergen en esta zona
- e) El frente estuarino presente en esta zona producido por el choque de aguas marinas con las fluviales
- f) La gran extensión y poca profundidad de la plataforma interna

Por todo aquello, el Golfo de Guayaquil constituye por sí mismo una región de gran importancia para la economía del país.

Sin embargo, en los últimos años se han detectado algunas evidencias que sugieren un progresivo deterioro del ambiente del golfo (CAAM, 1995).

1.3 CARACTERISTICAS OCEANOGRAFICAS Y CLIMATOLOGICAS

1.3.1 TEMPERATURA

La temperatura superficial del agua en el Golfo de Guayaquil es una característica determinada básicamente por la dinámica de las aguas de la zona, por lo cual exhibe una marcada variación estacional y espacial. Así tenemos que, durante la estación seca, con el fortalecimiento de los vientos alisios del sureste, las aguas del Golfo se ven mayormente influenciadas por la corriente fría de Humboldt, por lo cual la temperatura en la entrada del Golfo baja hasta los 21° y 22°C llegando a los 25°C en el estuario interior mientras que durante la estación de lluvias, con el debilitamiento de los alisios del sureste, la corriente fría de Humboldt disminuye su influencia sobre la zona, alcanzando entonces el agua una temperatura superficial de 25°C en la entrada del Golfo y de 28°C en el estuario interior.

1.3.2 MAREAS

Las mareas son una característica muy importante de las aguas del Golfo de Guayaquil ya que ellas determinan su circulación.

Las aguas del Golfo de Guayaquil se hallan influenciadas principalmente por la componente armónica semidiurna $M_2 = 12,42$ horas, producida por la atracción gravitacional que la luna ejerce sobre



horas, producida por la atracción gravitacional que la luna ejerce sobre la Tierra, obteniéndose por lo tanto dos pleamares y dos bajamares por cada día lunar de 24,84 horas.

La amplitud de la onda de marea para dos ciclos consecutivos es irregular, presentándose pequeñas desigualdades diurnas, reflejadas en una pleamar más baja y una más alta alternadamente, igual que sucede con las bajamares. Estas desigualdades diurnas de las mareas generalmente no exceden el 5% del rango (MURRAY et al., 1975).

1.3.3 CLASIFICACION DEL ESTUARIO

Para representar las condiciones dinámicas del sistema Río Guayas - Canal de Jambelí al término de la estación seca (Octubre - Noviembre 1970), (MURRAY et al., 1975) utilizó el esquema de clasificación de Hansen y Rattray (1966), el cual se basa en un diagrama de circulación - estratificación; como resultado, el estuario fue clasificado como **parcialmente mezclado** (Tipo 2B).

1.3.4 CIRCULACION DEL AGUA

1.3.4.1 ESTUARIO INTERIOR

La circulación de las aguas en el estuario interior está básicamente definida por el accionar de las mareas (CAAM, 1995).

Las corrientes de marea experimentan velocidades máximas en la mitad de su ciclo, es decir, a mitad de camino entre la pleamar y la bajamar, y viceversa.

En general, durante la estación seca, el flujo neto del río al llegar al Canal de Jambelí ha sido totalmente diluido por el agua de mar.

1.3.4.2 ESTUARIO EXTERIOR

La circulación del agua a través del estuario exterior del Golfo es más compleja debido a que aquí intervienen además de las mareas otros factores entre los que se destacan el aporte de agua por parte del río, el viento y las corrientes de la zona.

A través de un estudio de corrientes realizado por Medina en 1990, se hizo un seguimiento de botellas a la deriva, el cual reveló una dirección predominante de la corriente hacia el sureste en Octubre de 1985 y hacia el sur - suroeste en Enero de 1986.

1.3.5 INTERACCION DE LAS AGUAS DEL GOLFO DE GUAYAQUIL CON LAS AGUAS OCEANICAS MAR AFUERA

Las condiciones oceanográficas en el borde exterior del Golfo de Guayaquil son muy peculiares ya que esta zona es influenciada por masas de agua de diversas índole con características bien definidas, teniéndose por un lado el agua tropical superficial cálida y de baja salinidad que fluye a lo largo de la costa ecuatoriana procedente de la Bahía de Panamá y el agua subtropical superficial fría y salina de la corriente del Humboldt que fluye hacia el norte a lo largo de la costa peruana, presentándose adicionalmente en esta zona afloramientos de agua subsuperficial fría y salina de la Subcorriente Ecuatorial.

1.3.5.1 LA CORRIENTE DE HUMBOLT O DEL PERU

La corriente de Humbolt fluye hacia el norte a lo largo de la costa del Perú como parte de la circulación anticiclónica del Océano Pacífico Sur. El agua transportada por la Corriente de Humboldt es de origen subtropical modificada por los intensos afloramientos que ocurren a lo largo de la costa peruana producidos principalmente por el efecto de rotación de la Tierra. Al sur de la

1.3.5.2 LA CORRIENTE DEL NIÑO

Durante la estación de lluvias o, el fortalecimiento de los alisios del noreste (debilitamiento de los alisios del sureste) produce el escurrimiento hacia el sur de un estrecho flujo costero de agua tropical cálida procedente de la Bahía de Panamá, la que se desplaza a lo largo de la costa ecuatoriana. Este flujo es conocido como la Corriente del Niño en alusión al Niño Jesús, debido a que normalmente la corriente comienza a manifestarse en las proximidades de la Navidad (CUCALON, 1.989).

Las aguas empujadas por la corriente del Niño poseen temperaturas que oscilan entre los 25° y 27°C, salinidad menor de 34 ppm y una baja concentración de nutrientes.

La corriente del Niño es un evento cíclico que ocurre una vez al año durante la estación de lluvias, provocando la presencia de aguas de altas temperaturas a lo largo de la costa ecuatoriana

Los vientos alisios del noreste determinan el alcance hacia el sur de esta corriente, llegando normalmente hasta la Península de Santa Elena y en ocasiones extremas hasta la región norte del Perú.

1.3.5.2 LA CORRIENTE DEL NIÑO

Durante la estación de lluvias o, el fortalecimiento de los alisios del noreste (debilitamiento de los alisios del sureste) produce el escurrimiento hacia el sur de un estrecho flujo costero de agua tropical cálida procedente de la Bahía de Panamá, la que se desplaza a lo largo de la costa ecuatoriana. Este flujo es conocido como la Corriente del Niño en alusión al Niño Jesús, debido a que normalmente la corriente comienza a manifestarse en las proximidades de la Navidad (CUCALON, 1.989).

Las aguas empujadas por la corriente del Niño poseen temperaturas que oscilan entre los 25° y 27°C, salinidad menor de 34 ppm y una baja concentración de nutrientes.

La corriente del Niño es un evento cíclico que ocurre una vez al año durante la estación de lluvias, provocando la presencia de aguas de altas temperaturas a lo largo de la costa ecuatoriana

Los vientos alisios del noreste determinan el alcance hacia el sur de esta corriente, llegando normalmente hasta la Península de Santa Elena y en ocasiones extremas hasta la región norte del Perú.

1.3.5.3 LA SUBCORRIENTE ECUATORIAL

La Subcorriente Ecuatorial (o corriente de Cromwell) fluye hacia el este a lo largo del Pacífico ecuatorial a profundidades entre 50 m y 300 m (Knauss, 1960; Wyrki, 1966; Tsuchiya, 1981).

Al este del meridiano 120°W, el agua de la Subcorriente Ecuatorial posee temperaturas entre 12°C y 14°C y salinidades de alrededor de 35 ppm. Al llegar a las Islas Galápagos, el flujo de la Subcorriente decrece y se bifurca al norte y al sur de las Islas; parte del agua de la Subcorriente se dirige hacia el sureste y alimenta los intensos afloramientos que ocurren a lo largo de la costa norte del Perú y en el borde sur del Frente Ecuatorial (Stevenson y Taft, 1971; Cucalón, 1983; 1984; Sonnenholzner, 1991).

1.3.6 FENOMENOS OCEANOGRÁFICOS DE IMPORTANCIA EN LA REGIÓN

1.3.6.1 EL FENOMENO DEL NIÑO O EVENTO ENOS

La oscilación Sur constituye una de las mayores manifestaciones de la interacción océano - atmósfera en la región Indo - Pacífico y

como consecuencia de ella frente a la costa sudamericana se produce el denominado fenómeno "El Niño".

La comunidad científica mundial, una vez determinado el vínculo entre ambas manifestaciones las agrupa bajo un solo término: evento ENOS (el acrónimo ENOS proviene del inglés El Niño - Southern Oscillation); mientras que la prensa y público en general, comúnmente, se refieren a estos eventos como el fenómeno El Niño, o simplemente El Niño (CAAM, 1995)

Este fenómeno, provoca dramáticos cambios físicos, químicos y biológicos en toda la región del Pacífico Tropical Oriental, los que inciden en forma negativa en la economía, salud y bienestar de los países de la región entre los que se encuentran Colombia, Ecuador, Perú y Chile.

Los eventos ENOS se producen con frecuencias variables y describen a una anomalía océano - atmosférica de gran escala generada remotamente en el Pacífico tropical occidental y caracterizada fundamentalmente por el influjo no - periódico de aguas extremadamente cálidas (28° - 30°C) en el Pacífico tropical oriental, particularmente frente a Ecuador y Perú.

Los eventos ENOS son la respuesta oceánica a los cambios atmosféricos relacionados principalmente con los cambios de presión y por ende de los vientos a escala regional.

El sistema de vientos del Pacífico suroriental, es manejado por los centros de alta presión de esta zona y el de baja presión ubicado entre Indonesia y Australia, cuanto mayor es la diferencia de presión entre estos centros, mayor será el gradiente de presión (pendiente barométrica) y por ende más fuertes serán los vientos que soplen sobre el Pacífico Suroriental. En el caso contrario, cuando la diferencia de presión entre estos dos centros se reduce, los vientos del Pacífico Suroriental (alisios del Sureste) se debilitan y es justamente lo que ocurre durante un evento ENOS, aunque las causas de estas fluctuaciones son aún desconocidas.

Durante los eventos ENOS el litoral ecuatoriano sufre fuertes precipitaciones debido principalmente a un anormal desplazamiento hacia el sur de la Zona de Convergencia Inter Tropical (ZCIT); esto produce severos daños a los cultivos de la región como consecuencia de las desastrosas inundaciones (Cucalón, 1986b).

1.3.6.2 FRENTE ECUATORIAL

Frente a las costas del Ecuador se produce la convergencia de corrientes cálidas del norte y frías del sur, que dan origen al llamado frente ecuatorial y a un sistema complejo de corrientes costeras.

El Frente Ecuatorial puede definirse como una delgada banda en la cual fuertes gradientes de temperatura y salinidad indican la separación de agua tropical superficial cálida y menos salina al norte, y aguas de la corriente del Perú frías y más salinas al sur.

Este frente representa el límite Norte de la Corriente Costera del Perú.

La ubicación del Frente Ecuatorial es cuasizonal, ubicándose a los 4°S en la costa, pasando al Norte de las Islas Galápagos, y según algunos autores (Cromwell y Reid, 1956) su límite oeste se extiende hasta los 172°W, donde los procesos de mezcla desintegran su estructura.

Al norte de este frente las aguas superficiales se encuentran separadas de las aguas profundas por una termoclina poco

profunda y más intensa que al sur del frente, donde las aguas son frías y salinas.

La posición e intensidad del Frente, está relacionada, en parte, con los vientos del SE, los que son más fuertes en los meses de Julio a Noviembre. Los cambios estacionales de los alisios del SE afectan, por ende, la posición y la intensidad del Frente.

La complejidad de las alteraciones de las masas de agua, tanto oceánicas como costeras, que dan origen al frente ecuatorial, demandan de estudios localizados tanto "in situ" como estudios sinópticos regionales.

La información obtenida desde el espacio a través de sensores remotos permite determinar entre otros aspectos, las fluctuaciones superficiales de la temperatura de estas masas de aguas y particularmente la localización de frentes térmicos relacionados con la productividad oceánica y la presencia de cardúmenes. Además dichos medios permiten también tener información respecto a la ubicación de la Zona de Convergencia Intertropical.

1.3.7 CLIMATOLOGIA

El Golfo de Guayaquil está localizado en una región de **clima tropical**, que exhibe marcadas variaciones estacionales. Durante el período de Junio a Noviembre se registra la estación seca o **verano**, durante el período de Enero a Abril, ocurre la estación de lluvias o **invierno**, los meses de Mayo y Diciembre son períodos de transición entre ambas estaciones.

En el área del estuario del Río Guayas predomina un clima tropical monzón, con precipitaciones acumuladas de cerca de 900 mm durante los meses lluviosos de Enero a Mayo, mientras que en las estaciones secas estas precipitaciones desaparecen. La temperatura media del aire es de unos 26°C en invierno y de 23°C en la estación seca y la humedad relativa oscila entre 70% y 80% .

La Península de Santa Elena y la parte sur de la Isla Puná y del Golfo de Guayaquil presentan un clima tropical seco con precipitaciones inferiores a 200 mm durante los meses lluviosos, siendo el resto del año completamente seco, la temperatura media mensual del aire supera los 26°C en invierno y disminuye hasta 22°C en la estación seca.

La precipitación también presenta marcadas variaciones estacionales y espaciales a través del Golfo de Guayaquil. Por su parte, en Guayaquil, la precipitación anual media es de aproximadamente 910 mm, de los cuales más del 90% se registran durante los meses de Enero a Abril.

El régimen de vientos a través del estuario exterior del Golfo de Guayaquil varían estacionalmente de la siguiente manera: durante la estación seca, soplan predominantemente del oeste y suroeste con velocidades promedio de 6 m/s, estos vientos forman parte del sistema de los alisios que soplan desde el sur y sureste a lo largo de la costa sudamericana y que, al llegar a la altura del Golfo, una componente muy costera se desvía hacia el noreste y este, ingresando al Golfo.

Durante la estación de lluvias, la dirección de los vientos puede fluctuar dentro de un amplio rango, que va desde el sureste hasta el oeste, aunque con cierto predominio de vientos del tercer cuadrante.

En el estuario interior, la dirección y magnitud de los vientos experimenta también notables variaciones estacionales.

CAPITULO II

FUNDAMENTOS TEORICOS

2.1 FUNDAMENTOS DE LA OBSERVACION REMOTA

La observación remota o la teledetección es la técnica que nos permite obtener información de los objetos situados sobre la superficie de la tierra sin tomar contacto con ellos. Existen tres formas de adquirir información a partir de un sensor remoto: por reflexión, por emisión y por emisión - reflexión.

La primera de ellas es la forma más importante de teledetección, pues se deriva directamente de la luz solar. El sol ilumina la superficie terrestre, que refleja esa energía en función del tipo de cubierta presente sobre ella.

Ese flujo reflejado se recoge por el sensor, que lo transmite posteriormente a las estaciones receptoras. Entre superficie y sensor se interpone la atmósfera, que dispersa y absorbe parte de la señal original.

De igual forma, la observación remota puede basarse en la energía emitida por las propias cubiertas, o en la que podríamos enviar desde un sensor que fuera capaz, tanto de generar su propio flujo energético, como de recoger posteriormente su reflexión sobre la superficie terrestre.

En cualquiera de estos casos, el flujo energético entre la cubierta terrestre y el sensor constituye una forma de radiación electromagnética. En el caso, de la energía térmica se transfiere de un lugar a otro por tres procesos: convección, conducción y radiación de los cuales para fines de teledetección tiene una importancia primordial el último.

2.2 INTERACCION DE LA ATMOSFERA CON LA RADIACION ELECTROMAGNETICA

2.2.1 LEYES Y PROPIEDADES DE LA RADIACION ELECTROMAGNETICA

Según la teoría ondulatoria, la energía electro-magnética se transmite de un lugar a otro siguiendo un modelo armónico y

Según la teoría ondulatoria, la energía electro-magnética se transmite de un lugar a otro siguiendo un modelo armónico y continuo, a la velocidad de la luz y conteniendo dos campos de fuerzas ortogonales entre sí: eléctrico y magnético.

Las características de este flujo energético pueden describirse por dos elementos: longitud de onda (λ) y frecuencia (F). La primera hace referencia a la distancia entre dos picos sucesivos de una onda mientras que la frecuencia designa el número de ciclos pasando por un punto fijo en una unidad de tiempo (Chuvienco, 1990).

Ambos elementos están inversamente relacionados, como describe la siguiente formula:

$$C = \lambda \cdot F \quad (2.1)$$

Donde:

C: indica la velocidad de la luz (3×10^8 m/s)

λ : expresa la longitud de onda y

F: la frecuencia en (Hertzios, ciclos por segundo).



Gracias a la teoría cuántica, podemos calcular la cantidad de energía transportada por un fotón, siempre que se conozca su frecuencia:

$$Q = h \cdot F \quad (2.2)$$

Donde:

Q: es la energía radiante de un fotón (en Julios),

F: es la frecuencia

h: es la constante de Planck ($6,6 \times 10^{-34}$ J.S)

Substituyendo en 2.1 podemos expresar:

$$Q = h.F \quad \Rightarrow \quad F = Q/h$$

$$C = \lambda.F \quad \Rightarrow \quad C = \lambda(Q/h)$$

$$Q = h (C/\lambda) \quad (2.3)$$

lo que significa, en definitiva, que a mayor longitud de onda o menor frecuencia el contenido energético será menor y viceversa.

Esto implica que la radiación de longitud de onda larga es más difícil de detectar que aquella centrada en longitudes cortas, de ahí que las primeras requieran más sofisticados medios de detección.

2.2.2 PERTURBACIONES ATMOSFERICAS

La propagación de toda radiación electromagnética en el vacío, se produce en línea recta y sin disipar la energía que ella transporta, pero cuando en la trayectoria de un rayo se interpone un medio como la atmósfera o el agua, se producen perturbaciones en su propagación.

Estas perturbaciones son selectivas para cada longitud de onda y son provocadas en primer lugar por la absorción y en segundo lugar por la difusión, existiendo también un proceso de reflexión que se experimenta en la superficie de estos medios.

De lo antes expuesto se tiene que los procesos fundamentales que provocan las perturbaciones dentro de la atmósfera son la absorción y la difusión, y a efectos de evaluar la señal captada por un sensor sobre todo en las bandas termales, debe considerarse también la emisión de energía propia de la atmósfera.

2.2.2.1 ABSORCION

longitud y elimina prácticamente cualquier posibilidad de que pasen las de otras longitudes, siendo la observación remota solo posible en las primeras.

La absorción es el fenómeno que más perturba la radiación electromagnética, a pesar de lo cual en la atmósfera es posible encontrar algunas bandas donde se minimiza este fenómeno dejando pasar un gran porcentaje de energía.

Estas bandas a las cuales se reduce la posibilidad de observación remota se conocen con el nombre de “ventanas atmosféricas”, donde la transmisividad de la atmósfera es lo suficientemente alta.

Los principales causantes de esta absorción son: el oxígeno atómico (O_2), el ozono (O_3), el vapor de agua y el anhídrido carbónico (CO_2).

Como consecuencia de esta absorción espacial la transmisividad de *la atmósfera se reduce a determinadas bandas del espectro* conocidas como ventanas atmosféricas.

Las principales ventanas atmosféricas son las siguientes:

- (i) espectro visible e infrarrojo cercano, situada entre 0,3 y 1,35 μm ;
- (ii) varias en el infrarrojo medio de 1,5 a 1,8 μm , 2,0 a 2,4 μm , 2,9 a 4,2 μm y 4,5 a 5,5 μm ;
- (iii) infrarrojo térmico, entre 8 y 14 μm y
- (iv) micro - ondas, por encima de 20 mm, en donde la atmósfera es prácticamente transparente.

2.2.2.2 DISPERSION

La dispersión de la radiación electromagnética es causada por la interacción de ésta y los gases y partículas atmosféricas en suspensión.

Puesto que las partículas atmosféricas son muy variables en el tiempo y en espacio resulta muy complejo cuantificar su influencia final en la imagen adquirida por el sensor. Pese a ello convendrá tener en cuenta este factor, especialmente cuando se pretenda convertir los valores digitales de la imagen a parámetros físicos, el cual es el objetivo de este trabajo.

tener en cuenta este factor, especialmente cuando se pretenda convertir los valores digitales de la imagen a parámetros físicos, el cual es el objetivo de este trabajo.

Los principales causantes de la dispersión atmosférica son los aerosoles y el vapor de agua. Los aerosoles son partículas en suspensión de origen muy diverso; oceánico, debido al movimiento de las aguas, o continental, polvo en suspensión o partículas emitidas por combustión.

En función de su origen y características poseen muy variados tamaños, lo que implica distintos tipos de dispersión, ya que ésta es muy dependiente de su diámetro.

De acuerdo a la ley de Plank que se verá más adelante en este mismo capítulo, todo cuerpo con temperatura mayor al cero absoluto (-273°C) radia energía en forma proporcional al aumento de su temperatura.

Siendo la atmósfera un cuerpo gaseoso que envuelve el planeta y siendo su temperatura superior al cero absoluto, ella actúa como un cuerpo que emite energía.

El efecto de emisión atmosférica resulta fundamental al trabajar con imágenes del infrarrojo térmico, si se pretende obtener temperaturas de los objetos que se encuentran en la superficie terrestre (agua o tierra) ya que la energía emitida por estos cuerpos se verá contaminada por la energía emitida por la propia atmósfera, obteniéndose así temperaturas erróneas, por lo cual la determinación de temperaturas se apoya, ya sea en el desarrollo de modelos atmosféricos que permiten evaluar esta influencia o se recurre a muestreos “in situ” que permiten calibrar las temperaturas obtenidas de las imágenes.

2.3 ESPECTRO ELECTROMAGNETICO

El espectro electromagnético es un arreglo continuo de radiaciones, ordenado en función de la longitud de onda y la frecuencia. A pesar de la continuidad de este ordenamiento, suelen establecerse arbitrariamente en él ciertas divisiones o bandas dentro de las cuales la radiación electromagnética se comporta de una manera similar.

arbitrariamente en él ciertas divisiones o bandas dentro de las cuales la radiación electromagnética se comporta de una manera similar.

Es a la organización de estas bandas de comportamientos similares a la que se conoce como “espectro electromagnético” (Figura 2) (Chuvienco, 1990).

Tanto la teoría como la práctica coinciden en que el espectro electromagnético comprende longitudes de onda que van desde los Angstroms hasta los kilómetros.

Las longitudes de onda más cortas del espectro electromagnético corresponden a los rayos gamma y X, mientras que las más largas (kilométricas) corresponden a las ondas de telecomunicaciones.

Las unidades más usuales de medidas de longitudes de las ondas más cortas son las micras ($\mu\text{m} = 10^{-6}$ metros), mientras que las más largas se miden en centímetros o metros. Normalmente a estas últimas se les designa también por los valores de sus frecuencias (en gigahercios $\text{Ghz} = 10^8$ Hz)

Desde el punto de vista de teledetección las bandas más importantes del espectro son las siguientes:

- Espectro Visible (0,4 a 0,7 μm).- Se denomina así por tratarse de la única radiación electro-magnética que puede percibir nuestros ojos, coincidiendo con las longitudes de onda en donde es máxima la radiación solar. Suelen distinguirse tres bandas elementales, que se denominan azul (0,4 a 0,5 μm); verde (0,5 a 0,6 μm), y roja (0,6 a 0,7 μm), en razón de los colores elementales asociados a esas longitudes de onda.
- Infrarrojo Próximo (0,7 a 1,3 μm).- A veces se denomina también infrarrojo reflejado y fotográfico, puesto que puede detectarse a partir de films dotados de emulsiones especiales. Resulta de especial importancia por su capacidad para discriminar masas vegetales y concentraciones de humedad.
- Infrarrojo Medio (1,3 a 8 μm).- Es en donde se entremezclan los procesos de reflexión de la luz solar y de emisión de la superficie terrestre.

- Microondas (a partir de 1 mm).- Es de gran interés por ser un tipo de energía que es muy transparente a la cubierta nubosa.

2.4 DOMINIO DEL INFRARROJO TERMICO

Como se vio en el la fórmula 2.3, la cantidad de energía que contiene un flujo radiante es inversamente proporcional a su longitud de onda. Esta relación entre flujo de energía y longitud de onda, puede establecerse con mayor rigor gracias a la ley de Planck:

$$L_{\lambda} = \frac{2\pi h C^2}{\lambda^5 \{ \exp(hC/\lambda KT) - 1 \}} \quad (2.4)$$

Donde:

- L_{λ} : indica la emitancia radiactiva espectral de un cuerpo negro a una determinada longitud de onda (λ)
- h : es la constante de Planck ($6,626 \times 10^{-34} \text{ Ws}^2$)
- K : la constante de Boltzman ($1,38 \times 10^{-23} \text{ Ws}^2/\text{K}$)
- C : la velocidad de la luz
- λ : la longitud de onda y
- T : la temperatura absoluta de un cuerpo negro (en Kelvin, K).

C: la velocidad de la luz

λ : la longitud de onda y

T: la temperatura absoluta de un cuerpo negro (en Kelvin, K).

Esta fórmula se puede simplificar sustituyendo algunos términos por constantes:

$$L_{\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5 \{\exp(C^2/\lambda T) - 1\}} \quad (2.4.1)$$

Donde:

C_1 : puede sustituirse por $3,74 \times 10^{-16} \text{ Wm}^2$, y

C: por $1,44 \times 10^{-2} \text{ m K}$.

En pocas palabras, la fórmula de Planck nos señala que cualquier objeto por encima del cero absoluto (-273 °C) radia energía, y que ésta se incrementa con la temperatura.

En definitiva, la energía emitida desde un objeto es primariamente una función de su temperatura

2.4.1 CARACTERÍSTICAS DEL INFRARROJO TÉRMICO (IRT)

El infrarrojo termal dentro del espectro electromagnético se ubica desde los 3 a los 100 μm , pero a través de estudios generales sobre radiación, basados en las leyes de Planck, se conoce que la atmósfera es casi transparente a la radiación comprendida en el rango de 8 y 14 μm y opaca para la zona restante del primer intervalo mencionado. De ahí que el intervalo entre 8 y 14 μm es conocido como "ventana termal" que es donde se manifiesta con mayor claridad la emitancia espectral de la superficie terrestre y por ende la de interés para el sensoramiento remoto térmico de la misma.

También a esta parte del espectro se le denomina infrarrojo térmico, puesto que nos permite detectar el calor que procede de las distintas cubiertas. En definitiva, la radiancia espectral que recibe el sensor no es el resultado de la reflexión de la energía solar sobre la superficie terrestre, sino de la propia emitancia de ésta en función de su temperatura.

La emitancia espectral de un objeto está directamente relacionada con su capacidad para absorber la radiación solar incidente, la cual puede ser reflejada, absorbida o transmitida.

Considerando que la transmisividad es prácticamente nula en el infrarrojo térmico, la expresión puede simplificarse indicando que, a esas longitudes de onda, la energía incidente o bien se refleja o bien se absorbe. Junto a ello, es preciso tener en cuenta que la emisividad espectral de un objeto es equivalente a su absorptividad (ley de Kirchoff), lo que, en resumen, significa que en las superficies con alta reflectividad (caso de la nieve) son poco emisivas, mientras las poco reflectivas son altamente emisivas (como ocurre con el agua).

La capacidad térmica (c) indica la capacidad de la cubierta para almacenar calor. La capacidad térmica por unidad de masa se denomina calor específico (c). Las masas de aguas poseen la mayor capacidad térmica, por lo que pueden almacenar más calor que la vegetación o los suelos.

2.4.2 EL AGUA EN DOMINIO TERMICO

De los párrafos anteriores, se deduce fácilmente que el agua posee la mayor inercia térmica. Esta resistencia a cambiar de temperatura es debida a su alta conductividad: la radiación incidente es fuertemente absorbida y transmitida a lo largo de la superficie por movimientos de convección, con lo que resulta más difícil que cambie de temperatura.

Esto permite detectar con bastante facilidad plumas de aguas provenientes de fuentes ajenas al entorno, con temperaturas diferentes como sería agua con materiales en suspensión, aguas provenientes de descargas de centrales térmicas o nucleares, sitios de afloramientos y de frentes térmicos, corrientes, etc.

2.4.3 DETERMINACION DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR

En la práctica la determinación de la temperatura de una cubierta terrestre a partir de imágenes satelitarias se basa en la utilización de las leyes de Planck, considerando además, para el cálculo de la radiancia espectral, algunos coeficientes de calibración de los sensores a bordo de los satélites.

Para el caso del Thematic Mapper de los satélites LANDSAT, se tiene la siguiente fórmula:

$$L_{\lambda} = L_{\min\lambda} + \frac{(L_{\max\lambda} - L_{\min\lambda})}{(QCAL_{\max})} * QCAL \quad (2.5)$$

Donde:

QCAL: Números Digitales

$L_{\min\lambda}$: Radiancia Espectral a QCAL= 0

$L_{\max\lambda}$: Radiancia Espectral a QCAL= QCALMAX

QCALmax: Rango de la Radiancia Recalibrada en Números Digitales

L_{λ} : Radiancia Espectral

Una vez obtenida la radiancia espectral detectada por el sensor, ésta se reemplaza en la fórmula de Planck (2.4) debidamente despejada para la obtención de la temperatura, utilizando así mismo las constantes de calibración dadas para la banda térmica de los satélites LANDSAT (Tabla I), es decir:

$$T = \frac{K_2}{\ln (K_1 / L_{\lambda} + 1)} \quad (2.6)$$

Donde:

T: Temperatura en Grados Kelvin

K_2 : Constante de Calibración 2 en °K para Tabla I

K_1 : Constante de Calibración 1 en $\text{mW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{ster}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ para

Tabla I

L_{λ} : Radiancia Espectral en $\text{mW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{ster}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ para la ecuación (2.5).

Dada esta fórmula pueden obtenerse las diversas temperaturas de los objetos de la tierra que respondan a cualquiera de las 256 respuestas posibles dentro de la imagen satelitaria.

Debido a la influencia atmosférica descrita en este capítulo, los valores de temperatura obtenidos mediante este procedimiento no son reales, por cuyo motivo se hace necesario recurrir a otros métodos entre los que se destacan dos:

- Elaborar un modelo de la composición atmosférica que permita evaluar la participación de ésta en la señal captada; método muy costoso por lo cual es poco recomendable para nuestro medio.
- Transformar los números digitales de la imagen en radiancia y luego en temperatura para compararlos con los datos de temperatura obtenidos en forma simultánea con la toma satelitaria, método que fue aplicado en la ejecución del presente trabajo. Mediante la

comparación de las temperaturas de por lo menos tres puntos (de ser posible), se puede obtener un coeficiente de corrección para los datos obtenidos de la imagen y así calibrar la misma en su totalidad.

CAPITULO III

SISTEMAS SATELITARIOS

3.1 TIPOS DE SISTEMAS

La visión a gran altura que proporcionan los satélites, permite una sinopsis de grandes regiones y la comprensión de los fenómenos físicos que se desarrollan en la superficie terrestre y en la atmósfera, así como la evaluación de los recursos naturales del planeta (agua, bosques, sembríos, etc.).

Existen muchos medios que pueden ser utilizados para obtener información sobre la superficie terrestre desde la altura, todos pertenecientes al grupo de sistemas espaciales para observación de la tierra, siendo los más importantes los satélites artificiales, ya que ellos nos proporcionan no sólo una visión global sino también repetitiva de grandes porciones de la tierra.

El principio de la teledetección a través de satélites artificiales consiste en detectar y medir de las radiaciones reflejadas y/o emitidas por los



cuerpos de la superficie terrestre, no sólo los perceptibles por el ojo humano (espectro visible) sino también las invisibles a para éste (espectro infrarrojo).

La misión principal de los satélites de observación de la Tierra es entonces efectuar tomas de imágenes para transmitir las en directo o en diferido (grabaciones a bordo) a las estaciones terrenas.

De acuerdo a la órbita que poseen los satélites con respecto a la tierra, se dividen en geoestacionarios y orbitales:

3.1.1 SATELITES GEOESTACIONARIOS

Son aquellos que permanecen estacionarios con respecto a la tierra, es decir aquellos que giran con la misma velocidad de rotación de ésta, por lo cual siempre observan la misma zona de la superficie terrestre.

Debido a la gran altura a la que se ubican estos satélites, que es de aproximadamente 36000 Km. ellos pueden observar una gran zona circular que representa aproximadamente un cuarto de la superficie terrestre. Este grupo de satélites cuenta con un sistema de colección

de datos (DCS) que les permite registrar información procedente de sensores ambientales para ser retransmitidos inmediatamente a una estación receptora terrestre, debido a que carecen de instalaciones de registro de datos a bordo.

Estos satélites prestan servicios al área meteorológica básicamente aunque también son utilizados para la retransmisión de datos oceanográfico recogidos en dispositivos automáticos de recolección.

3.1.2 SATELITES ORBITALES

Son aquellos cuyas órbitas pasan cerca de los dos polos, atravesando el plano ecuatorial de la tierra con un ángulo aproximadamente recto.

Las observaciones son efectuadas sobre la parte iluminada de la órbita (día) es decir durante el curso Norte - Sur, volando una altura de 700 - 900 Km. Debido a que estos satélites no se encuentran a la vista de su estación terrena más que por breves momentos durante una órbita e incluso ellos pueden estar absolutamente fuera de vista durante varias órbitas, ellos poseen un sistema de registro de datos a bordo hasta que se presente la ocasión de transmitir los datos

grabados a una estación terrena, las mismas que tendrán entonces la misión de recibir, procesar y entregar datos tanto de los satélites orbitales como de los geoestacionarios.

Entre los satélites orbitales operativos los más difundidos en el campo de los recursos naturales se encuentra el LANDSAT (EE.UU) y el SPOT (Francia) y dentro del campo oceanográfico lo es el grupo de satélites NOAA (EE.UU) y ERS-1 (CEE) aunque este último es también utilizado en el campo de los recursos naturales.

3.2 SENSORES

Los sensores conforman uno de los elementos más importantes de la carga útil de un satélite ya que ellos son los encargados de muestrear la superficie del globo dando como resultado generalmente matrices digitales en las que se encuentra codificada algún tipo de información sobre la superficie muestreada: reflectividad, calor, temperatura, etc.

A bordo de cada satélite pueden ser montados diferentes tipos de sensores, los cuales son: instrumentos fotoeléctricos muy sofisticados que permiten vigilar las condiciones de la atmósfera y de la superficie

terrestre (radiómetros), aparatos para receptor información de otros sensores y otros para transmitir esta información a los usuarios en la tierra.

Los radiómetros como su nombre lo indica son instrumentos para medir los niveles de radiación electromagnética en diferentes longitudes de onda, las mismas que van desde el rango visible, el infrarrojo hasta las microondas. Los radiómetros son los sensores más difundidos dentro de los satélites para observación de la tierra.

De acuerdo a la fuente emisora de la energía que receptan estos sensores, ellos pueden ser pasivos y activos:

Sensores Pasivos.- Los sensores que trabajan con el rango visible e infrarrojo se denominan “pasivos” ya que ellos receptan la energía emitida por otra fuente (generalmente el sol) y reflejada por los objetos (superficie terrestre) y también la energía propia emitida por los cuerpos muestreados.

Sensores Activos.- Pertenecen a este grupo aquellos sensores que trabajan con una fuente de energía propia, en el rango de las

microondas, de modo que emiten la energía electromagnética en dirección al objeto de interés y luego detectan la energía reflejada por él (radar).

3.3 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS IMAGENES DE SENSORES REMOTOS

Entre las características principales de los satélites y sensores que se delegan a las imágenes satelitarias se tienen:

Ciclo Orbital (repetitividad).- El ciclo orbital es el período que separa dos pases del satélite por encima de una misma región (satélites orbitales).

Resolución Espacial.- Es el tamaño mínimo que debe tener un objeto para ser detectado por el sensor.

Resolución Espectral.- Es la capacidad de un sensor para captar diversas bandas o porciones del espectro electromagnético. Esta capacidad está limitada por las zonas de absorción de la radiación electromagnética y por las características del mismo sensor.

La resolución espacial es una función inversa a la resolución espectral, ya que si se quieren captar bandas más finas del espectro electromagnético (incrementar la resolución espectral) se perderá en lo concerniente a la resolución espacial.

3.4 SISTEMA LANDSAT

El grupo de satélites pertenecientes al sistema LANDSAT comenzaron a operar en el año 1972.

El primer satélite puesto en órbita dentro del programa LANDSAT fue el ERTS (Earth Resource Technology Satellite) luego del cual todos los que le precedieron fueron denominados LANDSAT.

Si bien es cierto que el sistema LANDSAT tuvo en sus inicios una dedicación exclusiva a la observación de los recursos terrestres, en los actuales momentos debido a la introducción de nuevos instrumentos, éstos tienen aplicaciones en otros campos como es la determinación de temperaturas de la superficie de la tierra o el agua.



Dentro del programa LANDSAT los dos últimos satélites lanzados y que se encuentran en operación en los actuales momentos son el LANDSAT 4 y 5, aunque ambos han ya cumplido su vida útil.

3.4.1 CARACTERISTICAS ORBITALES

Los satélites LANDSAT (4 y 5) orbitan el planeta a una altura de 705 Km. con un período orbital de 98.9 minutos, o sea que una órbita completa es realizada por el satélite en 1 hora 38.9 minutos.

Los satélites LANDSAT circunscriben una órbita del tipo heliosincrónica, polar, ligeramente inclinada ($99,1^\circ$).

Las **órbitas heliosincrónicas** son aquellas que describen un movimiento en el mismo sentido y con la misma velocidad angular que el movimiento medio del sol (iluminación solar) alrededor de la tierra, asegurándose de esta forma que cada punto del planeta sea enfocado siempre con el mismo ángulo de inclinación solar (una misma iluminación solar).

Las órbitas heliosincrónicas permiten entonces pases del satélite sobre un punto del planeta siempre a la misma hora local, lo que para nuestro país es aproximadamente a las 10H24. Hay que recalcar que

las horas del pase del satélite son constantes para una latitud dada, lo que asegura una iluminación casi igual a la de los pases sucesivos del satélite por un mismo lugar donde la altura del sol sólo variará en función de la estación.

La **órbita polar** es aquella a través de la cual el satélite orbita el planeta de norte a sur (traza descendente) y de sur a norte (traza ascendente) pasando cerca de los respectivos polos y atravesando el ecuador geográfico para el caso de LANDSAT con un ángulo de 99,7 (inclinación orbital).

3.4.2 INSTRUMENTOS DE OBSERVACION

Los primeros satélites LANDSAT tenían a bordo un barredor multiespectral conocido como el MSS (Multiespectral Scanner) y tres cámaras de vidicon (RBV, Return Beam Vidicon), mientras que los LANDSAT 4 y 5 eliminan esta última y la sustituyen por un nuevo explorador de barrido denominado TM (Thematic Mapper) que proporciona una mayor resolución espacial y espectral que el previo MSS, pero para asegurar la continuidad en la serie de datos se ha mantenido el MSS en los dos últimos LANDSAT, siendo este sensor el

que hasta el momento ha sido mas empleado ya que se cuenta con una serie de imágenes disponibles desde 1972 hasta la actualidad.

3.4.2.1 SENSOR MSS (MULTIESPECTRAL SCANNER)

El MSS es un sensor de barrido óptico - electrónico. Cuenta con un espejo oscilante que explora el suelo a lo largo de líneas (seis simultáneamente), con una resolución espacial de 80 * 80 m.

La radiancia recibida por el sistema focal se transmite a un filtro óptico que la descompone en cuatro bandas (verde, roja y dos del infrarrojo cercano)

Una escena adquirida por el MSS cubre en el suelo un área de 185 Km² las que pueden ser reproducidas en blanco y negro o en colores que realcen los objetos de interés de manera más efectiva.

3.4.2.2 SENSOR TM (Thematic Mapper)

El thematic mapper es también un equipo de barrido multiespectral, pero en dos direcciones. Cada oscilación del espejo cubre 16 líneas de barrido, además aquí se incorporaron nuevos detectores siendo

éstos un total de 100 (16 detectores por banda salvo la banda térmica que sólo requiere 4), lo que permite mejorar tanto la resolución espacial como espectral de este sensor con respecto al MSS.

El TM toma información en 7 bandas: azul (1), verde (2), roja (3), infrarroja cercana (4), infrarroja media (5), infrarroja lejana (7) y una banda termal (6), las que tienen una resolución espacial de 30 metros salvo en la banda termal en la que es de 120 m.

Al igual que en el MSS cada imagen tiene una cobertura en tierra de 185 Km².

Con estas mejoras el TM ha optimizado las aplicaciones terrestres y ha incorporado aplicaciones marinas de su información.

Debido a las leyes físicas revisadas en el capítulo 2, las bandas 1 y 2 de este sensor tienen una mayor penetración en el agua y por ello son utilizadas para discriminar objetos o elementos que se encuentran dentro de ésta, mientras que las bandas 3,4 y 5 son utilizadas para estudios de vegetación y otros elementos de la

cobertura terrestre y la banda 7 es aplicada a estudios geológicos y geomorfológicos. Siendo la banda 6 una banda térmica, ella es utilizada sólo para la determinación de la temperatura de la superficie terrestre (marina).

CAPITULO IV

INTERPRETACION DIGITAL DE LAS IMAGENES EN TELEDETECCION

Mediante la interpretación digital los valores numéricos que componen una imagen son tratados (agrupados, sustraídos, etc.) unos después de otros (tratamiento secuencial). Para cálculos cronológicos actualmente se emplean unidades de tratamiento en las cuales varias operaciones son realizadas simultáneamente (tratamiento paralelo).

Debido a la gran cantidad de datos a tratar y a que frecuentemente se utilizan para ello transformaciones complejas y engorrosas, el procesamiento numérico se efectúa mediante rápidas computadoras electrónicas.

El principal objetivo del tratamiento digital de imágenes es mejorar su calidad transformándola para optimizar su apariencia o fidelidad con respecto al original.

Antes de entrar de lleno al tratamiento digital e interpretación de las imágenes de teledetección, es necesario revisar algunos conceptos básicos para el entendimiento de esta técnica, los mismos que se detallan a continuación.

4.1 CONCEPTOS BASICOS

4.1.1 IMAGEN

Una imagen es el modo de representación de los datos receptados por un sensor. La mayoría de imágenes de teledetección espacial son registrados por los sensores en forma numérica. Por lo tanto ***una imagen es una matriz geométrica de dos dimensiones.***

En cada banda espectral la imagen registrada por un satélite se representa en forma de una tabla rectangular de valores numéricos. Una "célula" de esta tabla es generalmente llamada "pixel" o elemento mínimo de pantalla. Un "pixel" se localiza por el número de columna y fila que ocupa (Figura 3), entonces a un pixel se asocia:

- _ Su coordenada en línea: L_i
- _ Su coordenada en columna: C_j

- La medida física efectuada por el sensor en ese pixel en una cierta longitud de onda: $L_k(i,j)$.

Los sensores registran entonces esta medida física en diferentes dominios espectrales (bandas), por este motivo se dice que ellos son multiespectrales. Una imagen multiespectral esta entonces constituida por k matrices llamadas "canales", (Figura 3).

4.1.2 PRINCIPIOS DE VISUALIZACION

El principio fundamental de visualización de una imagen numérica es el de asociar un color (o un tono de gris) a cada valor radiométrico, siempre conservando la representación matricial de la imagen.

El espectro de colores es tridimensional, todo color esta constituido de una mezcla de cierta proporción de los tres colores fundamentales: (rojo, verde y azul).

Existen dos formas de visualizar una imagen: canal por canal o visualizando simultáneamente varios canales en síntesis aditiva de colores, es decir asociando cada canal a uno de los colores

fundamentales. Está claro que el número máximo posible de canales a visualizar simultáneamente es de 3.

La visualización canal por canal con intensidades radiométricas codificadas sobre 8 bits puede tomar 256 valores posible (2^8) asignándole el cero a la intensidad mínima (negro) y 255 a la intensidad máxima (blanco) habiendo entre estos dos valores una gama ordenada de tonos de gris.

La visualización simultánea de varios canales en síntesis aditiva de colores recibe el nombre de “**composición a color**”.

Una composición a color puede ser de dos tipos:

Color Verdadero: cuando a cada canal se le asigna el color correspondiente a su rango de longitudes de onda.

Falso Color: cuando a cada canal se le asigna un color diferente al que le corresponde según su rango de longitudes de onda.

Ambas composiciones pueden obtenerse utilizando imágenes del sensor TM - LANDSAT ya que este sensor si tiene un canal

correspondiente al rango de longitudes de onda azul lo que no sucede con el SPOT.

Así por ejemplo una composición en color verdadero en el TM se obtiene asignando el color azul a la banda 1, el color verde a la banda 2 y el color rojo a la banda 3, mientras que una composición en falso color podría ser la asignación del color azul a la banda 2, el color verde a la banda 3 y el color rojo a la banda 4, o cualquier otra composición donde a cada banda se le asigna un color diferente al que le corresponde según su rango de longitud de onda.

4.1.3 PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE UNA IMAGEN.

HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS:

Un histograma de frecuencias es un parámetro de fácil obtención en los programas de tratamiento de imágenes satelitarias. Estos se obtienen a través del conteo del número de píxeles correspondientes a cada nivel de gris.

La presentación de un histograma de frecuencias se la realiza de dos formas: numérica y gráfica.

La primera nos indica el número de píxeles contenidos en cada uno de los 256 niveles de gris (frecuencias), así como la frecuencia acumulada y los porcentajes, mientras que la segunda nos muestra la *curva relativa de la distribución de los píxeles*, por lo cual el histograma numérico es más aconsejable cuando se requiere obtener información más precisa sobre la distribución de los píxeles de una imagen.

El análisis de un histograma de frecuencias nos permite definir si la distribución de píxeles es uni-modal, bi-modal y multi-modal, es decir si existe uno, dos o más máximos. El número de máximos de un histograma depende no sólo del número de objetos o temas de una imagen sino también su abundancia relativa. La separación de las modas de un histograma nos permite separar los diversos temas presentes en la imagen.

El análisis del histograma de frecuencias de los canales del IR nos permite hacer una separación precisa de los límites tierra-agua, ya que se presenta como dos picos bien separados, correspondiendo el primero al agua y el segundo a la tierra.

4.2 PRETRATAMIENTO DE UNA IMAGEN

4.2.1 CORRECCIONES GEOMETRICAS

Las correcciones geométricas aunque no siempre se requieren, se hacen generalmente para compensar las distorsiones cartográficas y planimétricas causadas por la trayectoria del satélite, el movimiento de rotación de la Tierra y los movimientos propios del satélite alrededor de sus tres ejes.

Las correcciones geométricas tienen como objeto obtener una imagen capaz de ser superpuesta a un documento de referencia con la afectación de un punto a sus nuevas coordenadas. Ya que las deformaciones geométricas de las imágenes conllevan a tratamientos muy largos, es necesario que estas correcciones sean hechas en la misma estación receptora y es así como generalmente ocurre.

4.2.2 CORRECCIONES RADIOMETRICAS

Las correcciones radiométricas son aquellos procedimientos que permiten enfrentar problemas causados en el contenido mismo de la imagen por la propia atmósfera o por descalibración de los sensores

Las correcciones radiométricas se relacionan con la restauración de líneas o píxeles perdidos, correcciones de bandeamientos de la imagen (striping) y correcciones atmosféricas.

4.3 TRATAMIENTO DE LA IMAGEN

En las aplicaciones de la percepción remota se utilizan comúnmente 2 tipos principales de tratamiento numérico de datos.

Uno se conoce como ***“realce de la imagen”*** y otro se denomina ***“clasificación multiespectral”***.

4.3.1 REALCE DE LA IMAGEN

Se llama realce al proceso numérico a que es sometida una imagen para mejorar, realzar o eliminar ciertos detalles.

El aspecto más importante de las técnicas de realce es que obtenemos una imagen de salida con cualidades visuales mejoradas, la misma que luego debe ser analizada o sometida a clasificación. Veremos a continuación algunos tipos de realce.

a) *Estiramiento de Contraste (Stretching)*

El stretching es uno de los tratamientos informáticos más simples y consiste en modificar la gama de grises traduciendo los valores registrados en una escena.

La modificación de la escala de gris permite transformar la imagen primitiva en función de un objetivo dado.

La modificación se realizará para todo el intervalo de valores existentes en la imagen, haciendo énfasis en los límites de los diferentes tipos de cobertura, es decir se tomarán en cuenta los límites de mayor concentración de píxeles llevando el menor de estos límites al valor cero y el mayor de ellos a 255, mejorando así el contraste entre los objetos.

b) *Constitución de Máscaras Radiométricas*

Una "máscara" como su nombre lo indica es un objeto que nos permite ocultar una parte del otro. En el caso de una máscara radiométrica, ésta nos permite ocultar parte de la información

contenida en una imagen, es decir aquella que no nos será útil, dejando al descubierto la parte de la imagen que nos interesa.

La constitución de máscaras radiométricas sobre la tierra o sobre el agua, se basa primeramente en el estudio de la distribución de los pixeles, es decir del histograma de frecuencias de canales fuertemente absorbidos por el agua (infrarrojo cercano) ya que ellos nos brindan una buena separación entre estos dos temas.

Es muy generalizado utilizar máscaras radiométricas en la realización de estudios costeros, ya que las imágenes tomadas en dichas zonas se componen de los elementos agua y tierra, teniendo que, según las necesidades enmascarar uno de los dos.

La constitución de máscaras en este caso, servirá para ocultar la información concerniente al mar, en caso que quisiéramos realizar un estudio sobre tierra, o la información concerniente a tierra, en caso que quisiéramos realizar un estudio sobre el mar.

La utilización de estas máscaras nos ayudará a afinar el estudio estadístico de la repartición de píxeles del elemento de interés (agua o tierra).

El histograma de canales dentro del rango infrarrojo cercano presenta dos modos o picos muy bien separados entre sí, el primero de los cuales corresponde al agua y el segundo a la tierra, en el caso en que se encuentren presentes estos dos elementos en la imagen.

Para construir una máscara utilizando este histograma solo es necesario observar el punto de separación entre estos dos picos.

Las máscaras radiométricas pueden ser constituidas de 2 formas:

- 1) A través de un "Stretch" de la parte que nos interesa

- 2) A través de la delimitación de este histograma, dando el valor de 0 al escalón que representa la parte que queremos enmascarar y 1 al escalón que representa la parte de interés.

4.3.2 CLASIFICACION MULTIESPECTRAL

La clasificación permite reducir el número de unidades presentes en una imagen, buscando los individuos con las respuestas radiométricas más cercanas y agrupándolos.

Uno de los procedimientos de clasificación que suele ser utilizado consiste en la la clasificación mediante la segmentación del histograma de frecuencias, donde los límites de cada segmento están constituidos por los límites de las áreas modales. Este procedimiento trata de no variar el contenido informativo de la imagen, por lo cual fue elegido para la ejecución del presente trabajo.

CAPITULO V

MATERIALES Y METODOS

5.1 MATERIALES

- 1 subescena de 512 • 512 pixeles grabada en diskette en formato decimateado (1:10) con las siguientes características:
 - Sensor: TM (Thematic Mapper)
 - Satélite: LANDSAT 5
 - Path: 11, Row: 62
 - Fecha de toma: 29 de Abril de 1991
 - Hora de toma: 14:55:27 WM. (09:55:27 Ecuador)
 - Canales: 2, 4 y 6
 - Resolución: 30 y 120 m. respectivamente
 - Nivel de pretratamiento BULK
- 1 carta topográfica escala 1:50.000 editada por el Instituto Geográfico Militar, correspondiente a Guayaquil
- 1 Computador personal 486DX con las siguientes características:

Pantalla color alta resolución

Tarjeta SVGA

Memoria RAM: 8 Mb.

Disco Duro: 500 Mb.

Velocidad: 70 Mhz.

- Programa de tratamiento de imágenes IDRISI, versión 4.0
- Cartas Normales de Temperatura Superficial del mar para las estaciones seca y lluviosa (M. Sc. Emilio Cucalón)
- Datos de temperatura superficial del mar tomados por el INOCAR correspondientes a Abril de 1991.

5.2 METODOS

a) Análisis Digital:

El tratamiento digital al que fue sometida la imagen se basó en el uso de técnicas que no alteren la matriz de datos contenida en el archivo imagen, evitando así la modificación de la información lo que provocaría posteriormente una errónea transformación de números digitales a temperaturas. Esta técnica consistió en lo siguiente:

de menor longitud de onda (canal 2) y sobre el agua se midieron las respuestas que ésta emitía. En circunstancias normales, si no existieran nubes o elementos que ocasionen dispersión, esta respuesta debería ser próxima al cero, pero no ocurrió así en esta imagen. De la evaluación realizada se pudo establecer por un lado que los datos de temperatura a obtenerse iban a ser falseados por la influencia de nubes que si bien es cierto no son visibles, sí dejan sentir su influencia en la señal captada por el sensor; y por otro que el bandeamiento debía ser tomado en consideración el momento de interpretar la imagen resultante.

- Georeferenciación de la imagen: en vista de que el nivel de tratamiento de la imagen era el BULK, era necesario georeferenciar la imagen con el objeto de establecer las coordenadas geográficas de los píxeles que la componen, y específicamente, ubicar en ella los puntos de muestreos "in situ" que servirían para calibrarla. Este proceso consistió en los siguientes pasos:
 - En la carta topográfica escala 1:50.000 correspondiente a Guayaquil, se tomaron las coordenadas planas de puntos

- Evaluación de la calidad de la imagen, la que se realizó básicamente mediante la visualización de bandas apropiadas para el efecto. Para evaluar la calidad de la imagen se consideraron dos aspectos: la cobertura de nubes y los errores radiométricos (bandeamientos).
- La calidad de la imagen en cuanto a bandeamiento, es fácilmente observable sobretodo en zonas de baja radiancia (agua), éste se debe a la mala calibración de los detectores que conforman el sensor. Se pudo observar este problema en la banda 6, el mismo que tiene una orientación inclinada que no se sujeta a ninguno de los procedimientos de corrección convencionales
- En lo concerniente a la evaluación de la imagen en cuanto a nubosidad, si bien es cierto las formaciones de tipo cumulus pueden ser observadas sin dificultad en la imagen, no ocurre lo mismo con las formaciones de tipo stratus, ya que éstas a veces son transparentes y dejan observar la superficie terrestre sin dificultad, pero igualmente influyen en la respuesta de retorno que capta el sensor, por lo cual la evaluación se centró más que nada a la detección de estas últimas, para lo cual se visualizó el canal

de menor longitud de onda (canal 2) y sobre el agua se midieron las respuestas que ésta emitía. En circunstancias normales, si no existieran nubes o elementos que ocasionen dispersión, esta respuesta debería ser próxima al cero, pero no ocurrió así en esta imagen. De la evaluación realizada se pudo establecer por un lado que los datos de temperatura a obtenerse iban a ser falseados por la influencia de nubes que si bien es cierto no son visibles, sí dejan sentir su influencia en la señal captada por el sensor; y por otro que el bandeamiento debía ser tomado en consideración el momento de interpretar la imagen resultante.

- Georeferenciación de la imagen: en vista de que el nivel de tratamiento de la imagen era el BULK, era necesario georeferenciar la imagen con el objeto de establecer las coordenadas geográficas de los pixeles que la componen, y específicamente, ubicar en ella los puntos de muestreos "in situ" que servirían para calibrarla. Este proceso consistió en los siguientes pasos:
 - En la carta topográfica escala 1:50.000 correspondiente a Guayaquil, se tomaron las coordenadas planas de puntos

remarcables de esta carta (x,y) para luego ir a la imagen tomar las coordenadas de pantalla de estos mismos puntos (c,r).

- Teniendo como referencia las dimensiones de la imagen (512 x 512 pixeles), se calcularon las coordenadas planas correspondientes al ángulo superior izquierdo e inferior derecho de la imagen.
- De acuerdo a los requerimientos del programa, se procedió a abrir el archivo documento de la imagen e introducir estos nuevos datos correspondientes a Xmin, Xmax, Ymin, Ymax.
- Se realizó la verificación de las coordenadas establecidas tomando para ello otros puntos remarcables de la imagen, leyendo sus coordenadas planas y comparándolos con sus respectivas coordenadas en la carta.
- Debido a que una imagen de la banda térmica en bruto, se presenta con rasgos muy imprecisos, es difícil conocer los límites tierra-agua, por cuya razón y con el objeto de no dañar la información concerniente al agua, se hizo necesaria la creación de

una máscara sobre tierra a partir del análisis del histograma de frecuencias de la banda 4. Este histograma presentó una apariencia bimodal (Figura 4), correspondiendo a la primera moda el agua y a la segunda la tierra. Para la elaboración de esta máscara se procedió entonces a dar un valor de 1 a todos los píxeles involucrados dentro de la primera moda (agua) y un valor de 0 a todos los píxeles involucrados en la segunda (tierra), obteniéndose así una imagen binaria lista para ser transferida a la banda termal sin modificar la información de la parte de interés (agua).

- Se procedió luego al cálculo del histograma de frecuencias de la banda 6 en forma numérica. Este proceso se realizó con el objeto de analizar las fronteras dentro de las cuales responden los píxeles de esta banda, habiéndose ubicado esta frontera entre los 110 y 150 (Figura 5)
- Se hizo una reclasificación de la información contenida en la banda 6 para lo cual, una vez identificados los límites de concentración de la Información se procedió a separar aquella parte correspondiente al agua, la que se ubicó entre los 115 y 126,

El paso preliminar para la calibración de la imagen de la banda 6 consistió en la transformación de los números digitales a temperaturas, procedimiento que partió con el cálculo de la radiancia espectral a través del desarrollo de la fórmula 2.5 de la siguiente forma:

$$L_{\lambda} = L_{\min\lambda} + \frac{(L_{\max\lambda} - L_{\min\lambda})}{(QCAL_{\max})} * QCAL$$

$$L_{\lambda} = 0,1238 + \frac{(1,5600 - 0,1238)}{(255)} * ND$$

$$L_{\lambda} = 0,1238 + 0,00563215686 * ND$$

Donde ND es el valor de los números digitales o sea la respuesta que se obtiene en pantalla.

Para el caso ND=0, se tiene una radiancia espectral de 0,1238, y para el caso de ND=255, se obtiene una radiancia espectral de 1,56; y para la obtención de las temperaturas correspondientes se aplica la fórmula 2.6:

$$T = \frac{1260,56}{\ln (60.776/ L_{\lambda} + 1)}$$

$$T = \frac{1260,56}{\ln (60,776/ 0,1238 + 1)}$$

$$T = -69,63^{\circ}\text{C} = 203,37^{\circ}\text{K}$$

Obtenida de esta forma la expresión de la radiancia espectral, se procedió a calcular sus valores respectivos para cada una de las 256 respuestas posibles (0 - 255), luego de lo cual, tomando en consideración los coeficientes de calibración para el TM (Tabla I), se procedió al cálculo de la temperatura correspondiente a cada respuesta mediante la fórmula 2.6

Este procedimiento fue tabulado y puede ser observado en la Tabla II

De esta tabla puede deducirse que el TM permite medir temperaturas desde los - 69° C hasta los +69° C.

- Utilizando la Tabla II se procedió a extraer de ella la temperatura promedio de cada una de las clases correspondientes al agua.

- Se ubicaron en la imagen los puntos de muestreo del INOCAR (Tabla III) asignándolos a la clase correspondiente y obteniendo por ende su temperatura según lo establecido en el paso anterior (Tabla IV).
- Comparación de los valores de las temperaturas tomadas por el INOCAR y las obtenidas a través de los cálculos realizados
- Cálculo de la influencia atmosférica para cada punto con medición “in situ” mediante la obtención de las diferencias entre el valor calculado y el real medido en el sitio.
- Cálculo del promedio de la influencia atmosférica de cada punto con medición “in situ” obteniendo así el valor de corrección atmosférica.
- Correlación de los valores de las temperaturas obtenidas para cada clase adicionándole el valor de la influencia atmosférica obtenido (Tabla IV).

- Corrección de la leyenda elaborada preliminarmente

- Impresión de resultados

CAPITULO VI

RESULTADOS

6.1 RESULTADOS

Como resultados del presente trabajo se obtuvo lo siguiente:

- Una imagen del canal 4 con máscara sobre agua: la que nos permite delimitar de manera precisa no sólo los límites tierra - agua sino también ciertos rasgos que se encuentran en la parte terrestre (Imagen 1).
 - Una imagen del canal 6 clasificada: la misma que fue el objeto de éste trabajo y nos permite separar las aguas superficiales de acuerdo a sus temperaturas (Imagen 2).
 - Tabla de transformación de números digitales a temperaturas, la misma que fue elaborada considerando la ley de radiación de Planck y mas específicamente las fórmulas 2.5 y 2.6.
-

- Tabla de calibración de la imagen del canal 6 clasificada: para lo cual se consideraron los datos “in situ” recopilados en cruceros oceanográficos del INOCAR, (Tabla III).

De estos datos y los obtenidos de la tabla de transformación anterior se procedió a definir el grado de influencia atmosférica, lo que sirvió para corregir todos los valores de temperatura (ND) presentes en la imagen. (Tabla IV)

6.2 ANALISIS DE RESULTADOS

Es notorio que para una correcta interpretación de los resultados de este trabajo, se requiere de imágenes adicionales, no obstante, de las imágenes resultantes de esta tesis y teniendo como apoyo documentos adicionales tales como la carta batimétrica (Figura 6), la tabla de mareas para el área de estudio (Tabla V) y las normales de la temperatura superficial del mar para el período lluvioso (Figura 7), pueden deducirse los siguientes aspectos importantes:

- *En la imagen de la banda térmica clasificada se establecieron 6 clases de agua de acuerdo a sus temperaturas las que van desde los*

23°C en la zona de la corriente de Humboldt hasta los 28°C en la zona del estuario interior.

De la comparación de los resultados obtenidos con los gráficos existentes sobre las normales de la temperatura superficial para esta zona pudo observarse que existe correspondencia entre la imagen resultante y las normales de temperatura superficial para esta época.

- El frente estuarino se encuentra muy bien demarcado en la imagen resultante, el mismo que deja observar la zona donde confluyen las aguas estuarinas con las aguas oceánicas.

- Existen fenómenos interesantes que se aprecian en la imagen, tales como: la pluma de agua que ingresa al Canal de Jambelí y el parche de agua ubicado en el estuario exterior a la salida del canal del Morro más o menos a la altura de Playas, las cuales sería conveniente analizarlas con imágenes adicionales que permitan explicar su presencia y evolución, ya que para el primer caso en la tabla de mareas para la estación de Puerto Bolívar (Tabla V) a la hora en que fue tomada la imagen (09H55) se observa que esta próxima la

bajamar, y solo con esta imagen no se puede afirmar que esta pluma corresponde a una de marea.

- En el límite sur de la imagen se puede apreciar el flujo de la corriente de Humboldt o de Perú, la que en esta zona comienza a girar en dirección noroeste hacia las Islas Galápagos y que se presenta en la imagen con una temperatura de 23°C.
- El estuario interior se caracteriza por altas temperaturas que llegan hasta los 28°C, lo cual se corresponde con las normales de temperatura para ésta época. Estas altas temperaturas se justifican principalmente por la poca profundidad de estas aguas.
- Frente a Salinas se puede observar un flujo que llega a este lugar con temperaturas inferiores a las circundantes.
- Existe una clara definición del límite tierra - agua, lo cual se obtuvo gracias a la apariencia bimodal de la banda 4.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. La metodología desarrollada en el presente trabajo permite alcanzar el objetivo deseado, que es la obtención de la Temperatura Superficial del Mar a partir de las imágenes del sensor TM de los satélites LANDSAT, por lo cual sirve como base para el desarrollo de trabajos futuros en este campo.
2. Debido a que la imagen de trabajo correspondió a 1991, año considerado como normal, y habiéndose comparado la imagen resultante con la carta normal de temperaturas para la estación lluviosa, se concluye en que esta imagen puede ser considerada como un patrón del comportamiento térmico del área del Golfo de Guayaquil para dicho período, por lo que puede ser tomada como material digital para realizar comparaciones con situaciones futuras o históricas que quieran ser sometidas a algún análisis.
3. Algunos de los factores descritos en el análisis de resultados concuerdan con los conocimientos teóricos que se tienen de la región lo que valida la utilización de las imágenes satelitarias no sólo para evaluar los aspectos

térmicos sino también los aspectos dinámicos que se presentan en la zona de estudio.

4. La utilización de las fórmulas de calibración expuestas en el capítulo 2 y que fueron utilizadas en esta tesis, dan como resultado temperaturas irreales en esta zona del planeta, por cuanto la atmósfera tiene una composición más compleja, especialmente en lo que a vapor de agua se refiere, además de que su espesor es mayor que el de las altas latitudes lo que provoca esta discrepancia. Por lo cual la utilización de dichas fórmulas en zonas ecuatoriales debe estar acompañada siempre de datos "in situ" o modelos atmosféricos que permitan cuantificar dicha influencia. y poder corregir los valores de temperaturas que se obtienen a través de la fórmula de Plank.

5. A pesar de que los datos "in situ" utilizados no fueron tomados simultáneamente con el pase del satélite, éstos permitieron calibrar la imagen ya que correspondían al período lluvioso y a una hora similar a la del pase con lo cual al menos se simularon las condiciones que existieron en dicho momento.

6. La temperatura superficial del mar es un buen indicador de la variabilidad de las capas superiores del océano, constituyendo la teledetección en este campo una valiosa herramienta, debido en primer lugar a su relativo bajo costo y en segundo lugar a que es posible obtener imágenes sinópticas de una amplia superficie del océano con una alta frecuencia temporal, pudiendo por lo tanto lograrse un buen seguimiento de la variabilidad del mar estudiando la estructura superficial de la temperatura y sus anomalías donde sobresalen fenómenos tales como afloramientos y frentes.

7. Una imagen satelitaria sin calibración, puede ser también útil ya que ella nos proporciona la información cualitativa necesaria para analizar los procesos oceanográficos de importancia que ocurren en la zona, mientras que la imagen calibrada además de aquello nos proporciona información cuantitativa tal como lo son los valores de la temperatura superficial del mar.

8. La obtención de la temperatura superficial del agua a través de imágenes TM-LANDSAT, es aplicable también a la delimitación de zonas de interés pesquero, toda vez que en ellas pueden ubicarse con gran precisión sitios de afloramientos y frentes térmicos que constituyen centros de alta productividad primaria.

En lo referente a las Tablas resultantes se obtuvo lo siguiente:

1. El rango de números digitales identificados para el agua solo se limita a un pequeño intervalo de valores que van desde los 115 a 126, lo cual deja reflejar la homogeneidad del agua en cuanto a estas características.
2. La atmósfera de acuerdo a lo observado en la tabla 4, presenta una considerable influencia del orden de 8°C en los resultados obtenidos por la fórmula de Planck en la tabla 2, la misma que fue corregida con la ayuda de los datos "in situ".

Esta influencia puede también corresponde al fuerte bandeamiento que poseía la imagen y que debido a su carácter oblicuo no pudo ser corregido.

RECOMENDACIONES

Aunque los resultados obtenidos en esta tesis son muy satisfactorios, es aconsejable realizar un trabajo de este tipo con al menos una medición simultánea con el pase del satélite, ya que si bien es cierto se introdujeron datos “in situ” en condiciones similares a la del pase, éstos de alguna forma debido a la dinámica propia de la zona, pudieron haber falseado en algo los resultados. Por lo cual es imprescindible en lo futuro realizar mediciones simultáneas con el pase del satélite tanto en el período seco como en el lluvioso, para así definir de manera precisa la influencia de la atmósfera en ambas estaciones y calibrar con confiabilidad cualquier imagen en lo futuro

La presencia de nubes es un problema que muchas veces dificulta las tomas simultáneas haciéndolas muy costosas debido a que hay que realizarlas repetido número de veces hasta obtener un buen resultado, por lo cual de no ser posible una medición simultánea, se recomienda utilizar la metodología descrita en esta tesis, considerándose además los siguientes aspectos:

1. Realizar un trabajo similar en una imagen tomada en otra fecha para poder explicar algunas características oceanográficas presentes en esta imagen.

2. Elaborar un estudio parecido para la estación seca y obtener así un patrón del comportamiento térmico normal para dicha estación.
3. Realizar seguimientos de la evolución térmica comparando siempre los resultados con los obtenidos en este trabajo (patrón para la estación lluviosa) y con los que se obtuvieren como patrón para la estación seca, con fines a detectar oportunamente anomalías en el momento en que se presenten.
4. Estando el CLIRSEN próximo a implementar una estación de recepción, grabación y procesamiento de imágenes del sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) de los satélites NOAA, se recomienda utilizar este tipo de imágenes para el seguimiento del comportamiento termodinámico de las aguas a escala regional, mientras que las imágenes del TM utilizadas en esta tesis deberán seguir siendo utilizadas para estudios a escala local debido a su mayor resolución espacial.
5. Se recomienda además el uso de la metodología desarrollada en esta tesis en la determinación de temperaturas en el área terrestre, lo que podría relacionarse con estudios de vulcanismo, contaminación térmica y zonificaciones climáticas por ejemplo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. CAMM, 1995.- "Desarrollo sustentable en el Golfo de Guayaquil", 128 pgs.
2. CHUVIECO E.; 1990.- "Fundamentos de teledetección espacial" 453 pgs.
3. EOSAT, 1996.- Landsat Technical notes. Newbook - uptables - 8 pags.

BIBLIOGRAFIA

1. ALLAIN C., 1990, "Differents aspects de l'oceanographie appliques aux peches maritimes". Institut scientifique et technique des pêches maritimes. 9 pgs.
2. BARBIERI A., YANEZ E., SEGURA M., YCAZA P., SANTOS M. & VALDERRAMA M, 1992.- "Estudio de la variabilidad ambiental y la relación con las pesquerías pelágicas mediante técnicas de percepción remota". Perfil de proyecto 1. II Conferencia Espacial de las Américas. Pag. 80-83.
3. BARTOLUCCI L., CHANG M., ANUTA P. & GRAVES M., 1988.- Atmospheric Effects on LANDSAT TM Thermal IR Data. Revista ICEE transactions on Geosciencie and remote sensing. Vol. 26, No. 2.
4. BELLAN D., 1990.- Imagesdans l'infrarouge Thermique. Applications de la Thermografie a l'Institut Geographique National.- GDTA, 26 pags.
5. BELLAN, D., 1990.- Applications de la thermographic a l' Institut Geographique National.- CETEL 1990 - 1991, 26 pags.
6. BOSQUE J., ESCOBAR F.J., GARCÍA E. & SALADO N.J., 1994.- Sistemas de información geográfica: Prácticas con PC ARC/INFO e IDRISI. 478 pgs.

7. CASSANET J., (CNRS) 1981.- "Etude par teledetection des temperatures et turbidites des eaux an large de la loire Atlantique 173 pgs.
8. CITEAU J.& HERVE DEMARCQ, (ORSTOM) - 1990 "Restitution de la temperature de surface oceanique en zone intertropicale a partir des données du satellite METEOSAT". Bulletin de l'Institut océanographique, Mónaco, N^o spécial 6. Pags 149 - 172.
9. CHULEIKIN B. 1968.- "Física del mar". Editorial "Ciencia" Moscú. Cuarta edición. 1083 pgs.
10. DESCHAMPS P.Y., HERMAN M., & TANRE D., 1981.- "Influence de l'atmosphere en télédétection des ressources terrestres. Modélisation et possibilités de correction" Signatures spectrales d'objets en télédétection. Pags. 543-558.
11. GOHIN FRANCIS, 1990.- Analyse Géostatistique et Carto - graphic des Champs Thermiques á partir d'observations obtenues par bateaux el par Teledetection Spatiabile. IFREMER - Actes de Colloques d' IFREMER No.- 10. Pags. 65 - 86.
12. HUBAUX A., 1990.- The luxuriant Image: An Introduction to Remote Sensing Data Processing.

13. LARSSON R.A & STROMQUIST L., 1993.- Un enfoque práctico al Análisis de Imágenes de Satélite para el monitoreo ambiental. 69 pgs.
14. PETIT M., 1990.- "La composante télédétection dans le développement de l'océanographie opérationnelle des pêches". Bulletin de l'Institut océanographique, Mónaco, No. spécial 6. Pag. 27-57.
15. STRETTA J.M. & WADSWORTH A., 1987,

INDICE DE FIGURAS

Fig./No.		Pág.
1	LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO -----	100
2	ESPECTRO ELECTROMEGNETICO -----	101
3	REPRESENTACION DE UNA IMAGEN SATELITAL -----	102
4	HISTOGRAMA DE LA BANDA 4 -----	103
5	HISTOGRAMA DE LA BANDA 6 -----	104
6	BATIMETRIA DEL AREA DE ESTUDIO -----	105
7	DISTRIBUCION DE LAS NORMALES DE TEMPERATURA DURANTE LA ESTACION LLUVIOSA -----	106

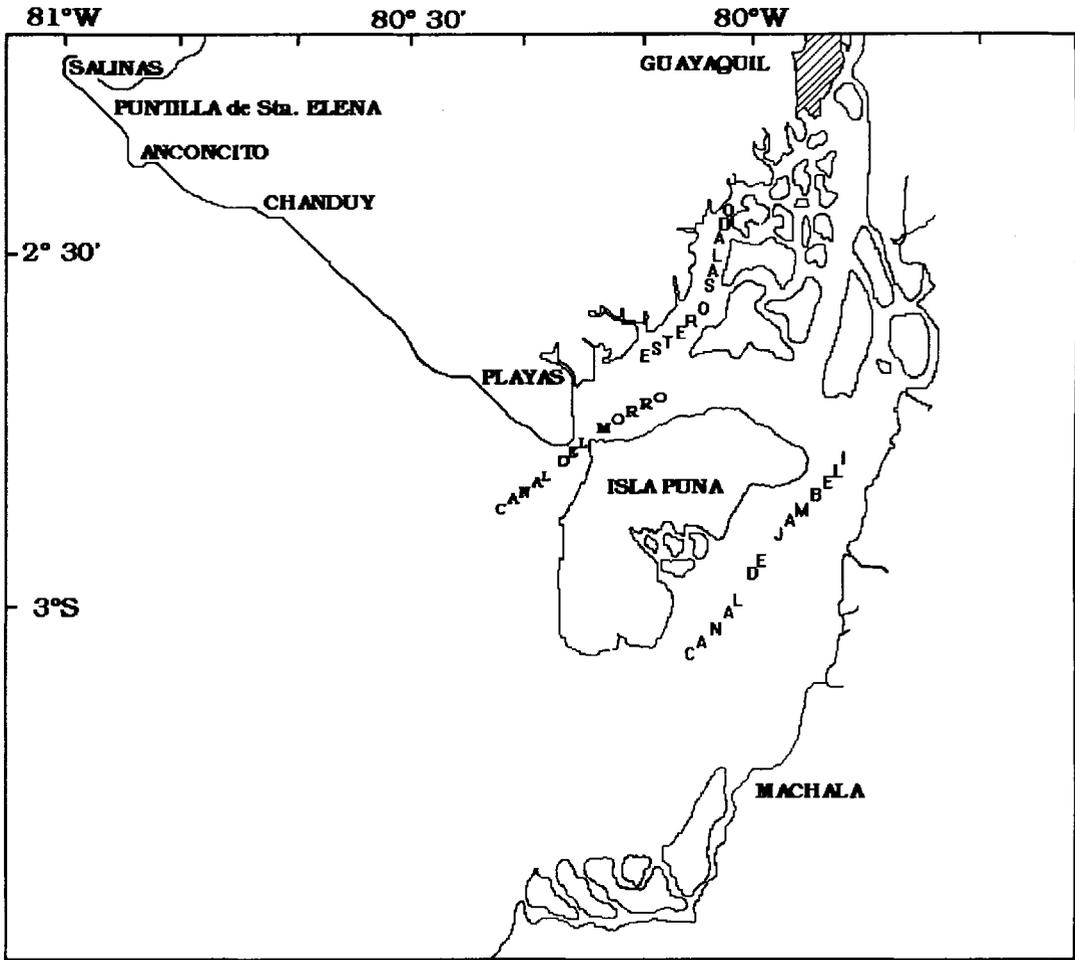


Figura 1.- LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

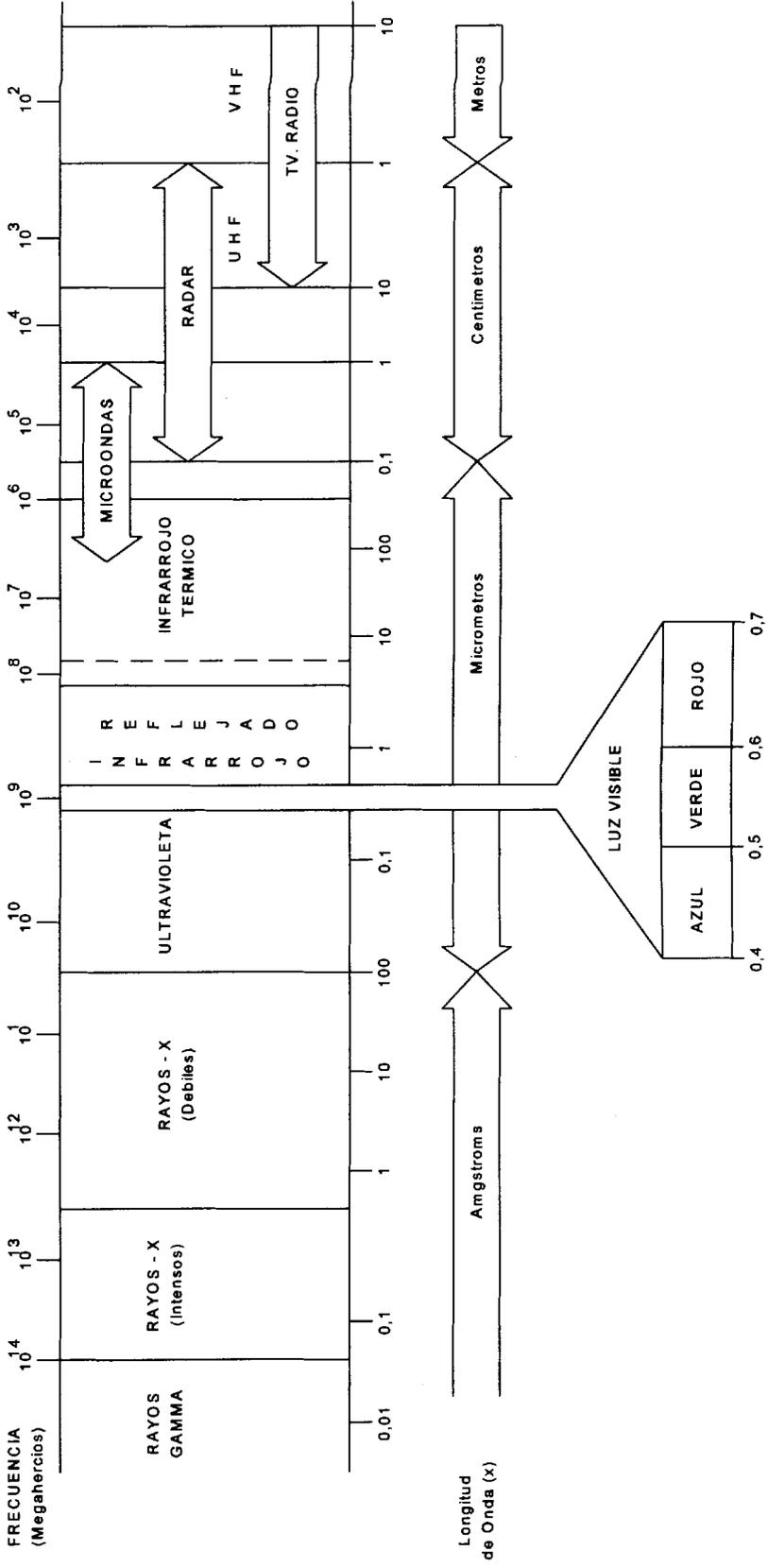


Figura 2.- ESPECTRO ELECTRO - MAGNETICO

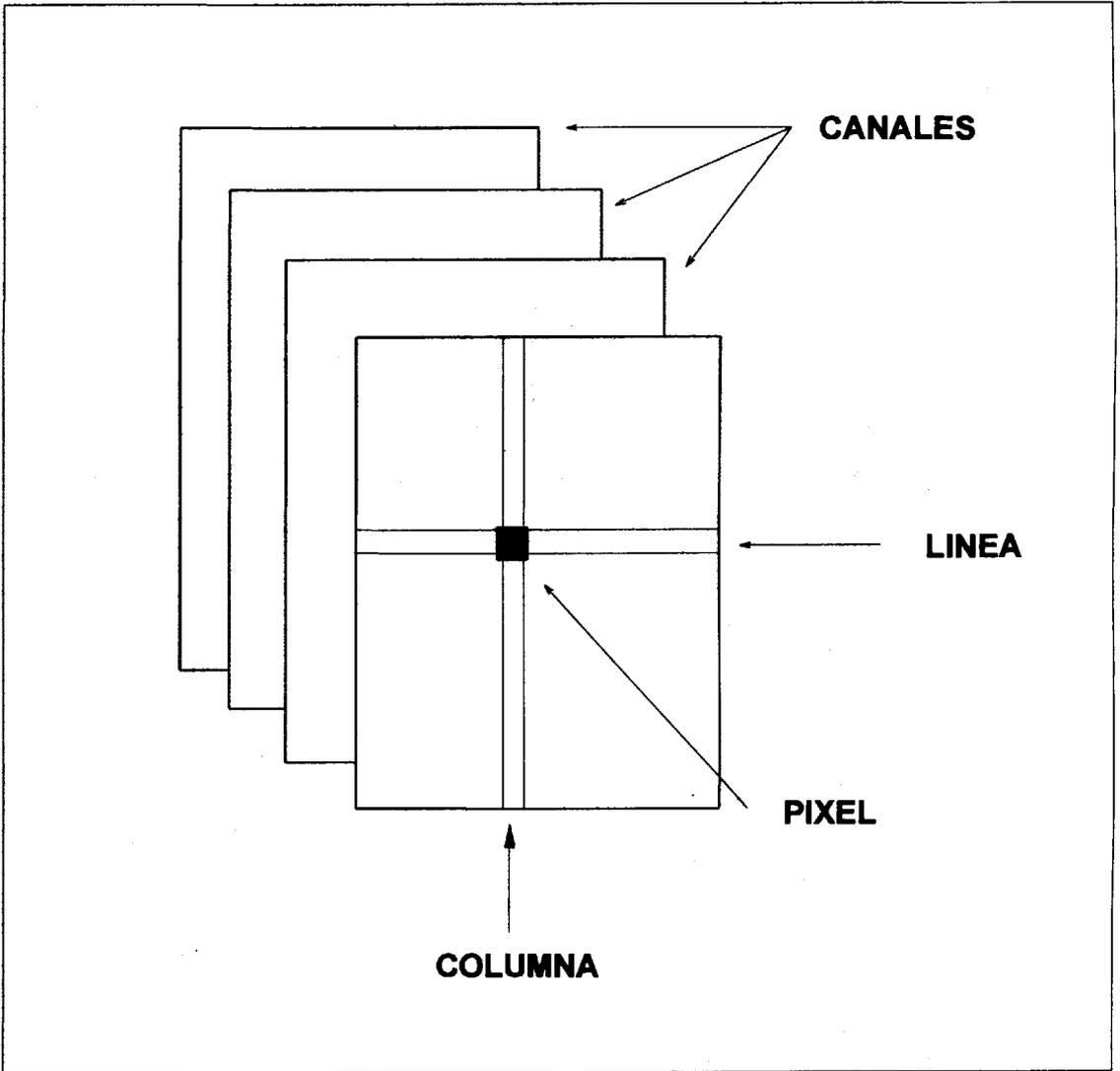


Figura 3.- REPRESENTACION DE UNA IMAGEN SATELITAL

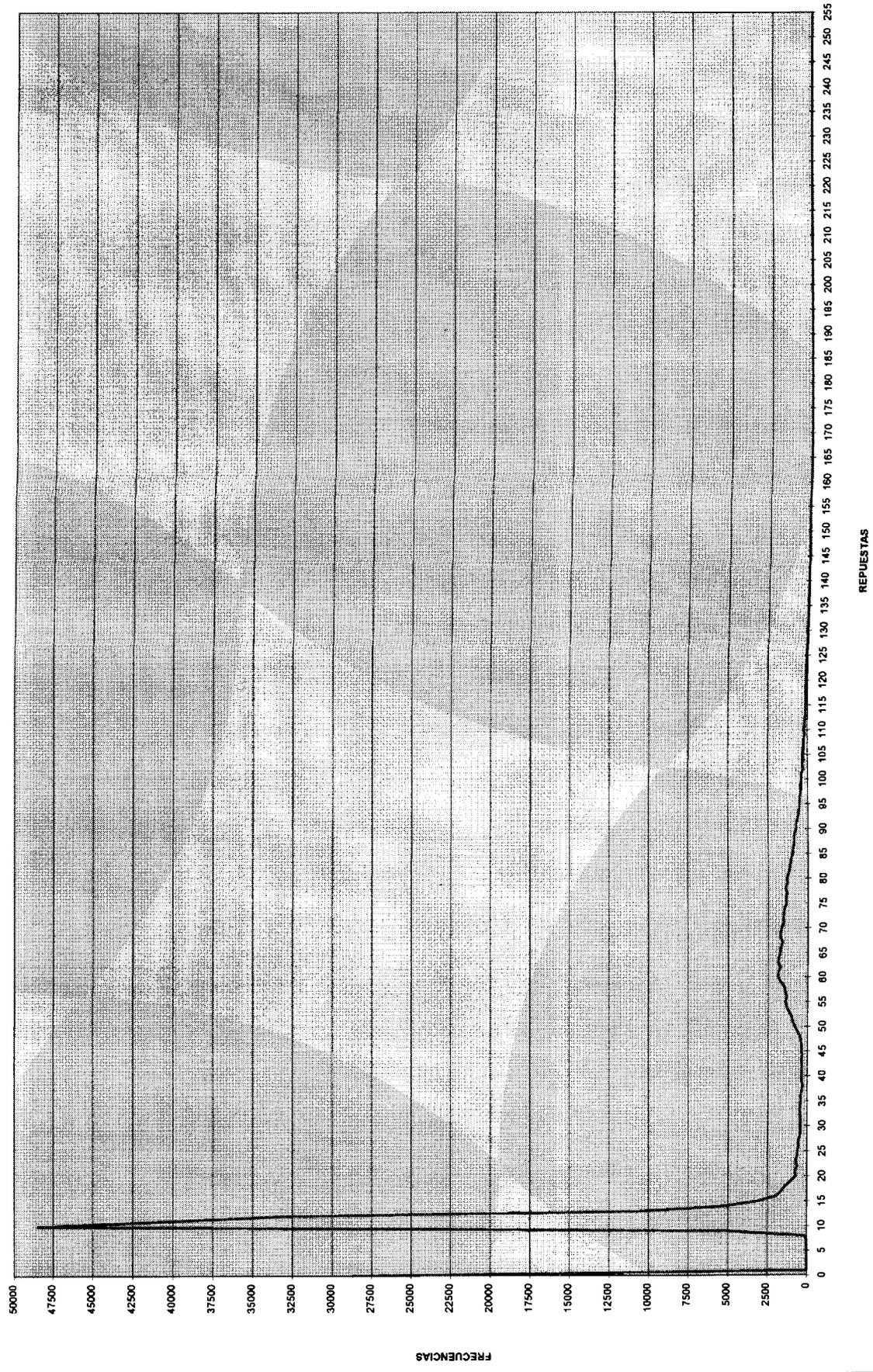


FIGURA 4.- HISTOGRAMA DE LA BANDA 4

ANEXOS

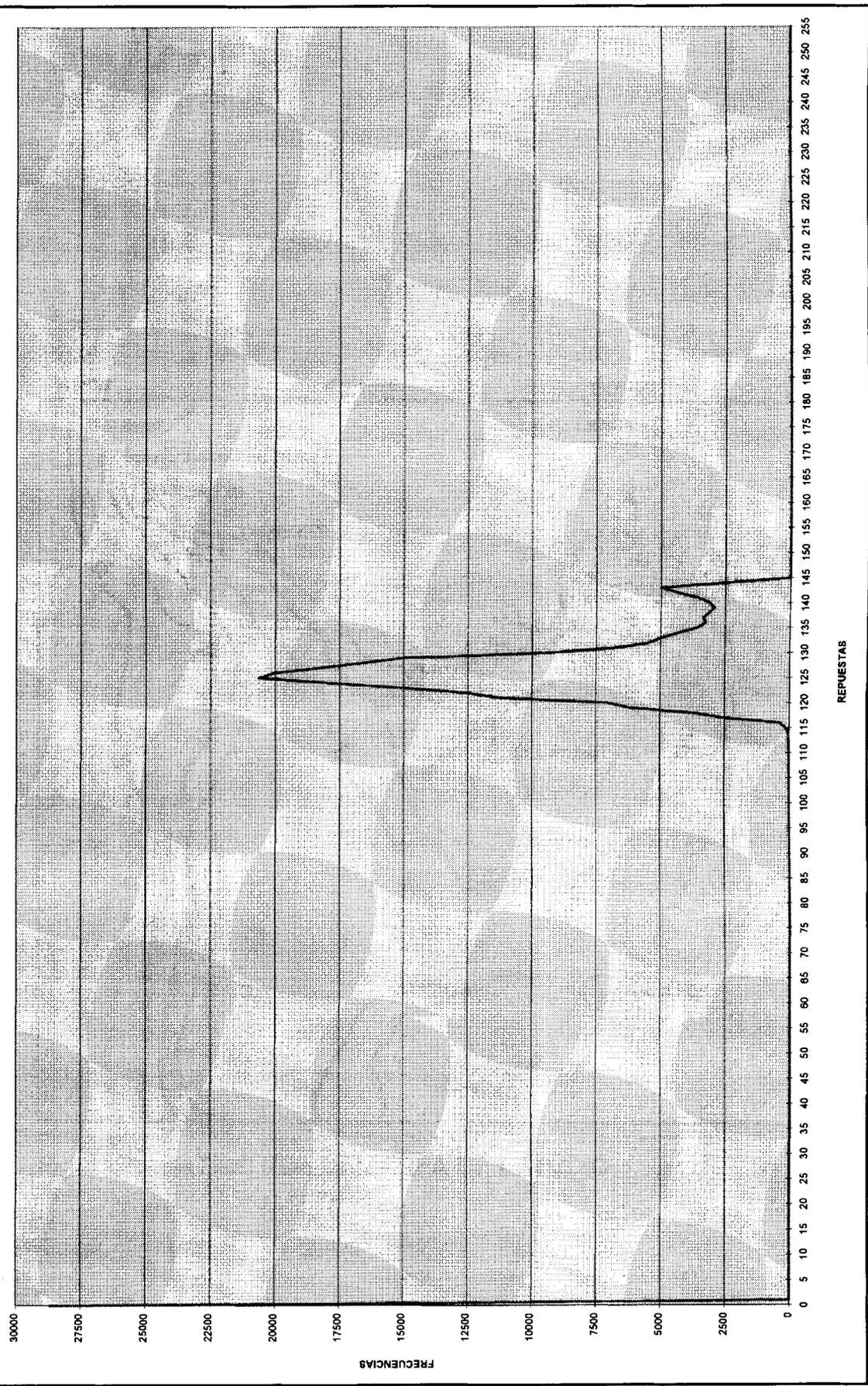


FIGURA 5.- HISTOGRAMA DE LA BANDA 6

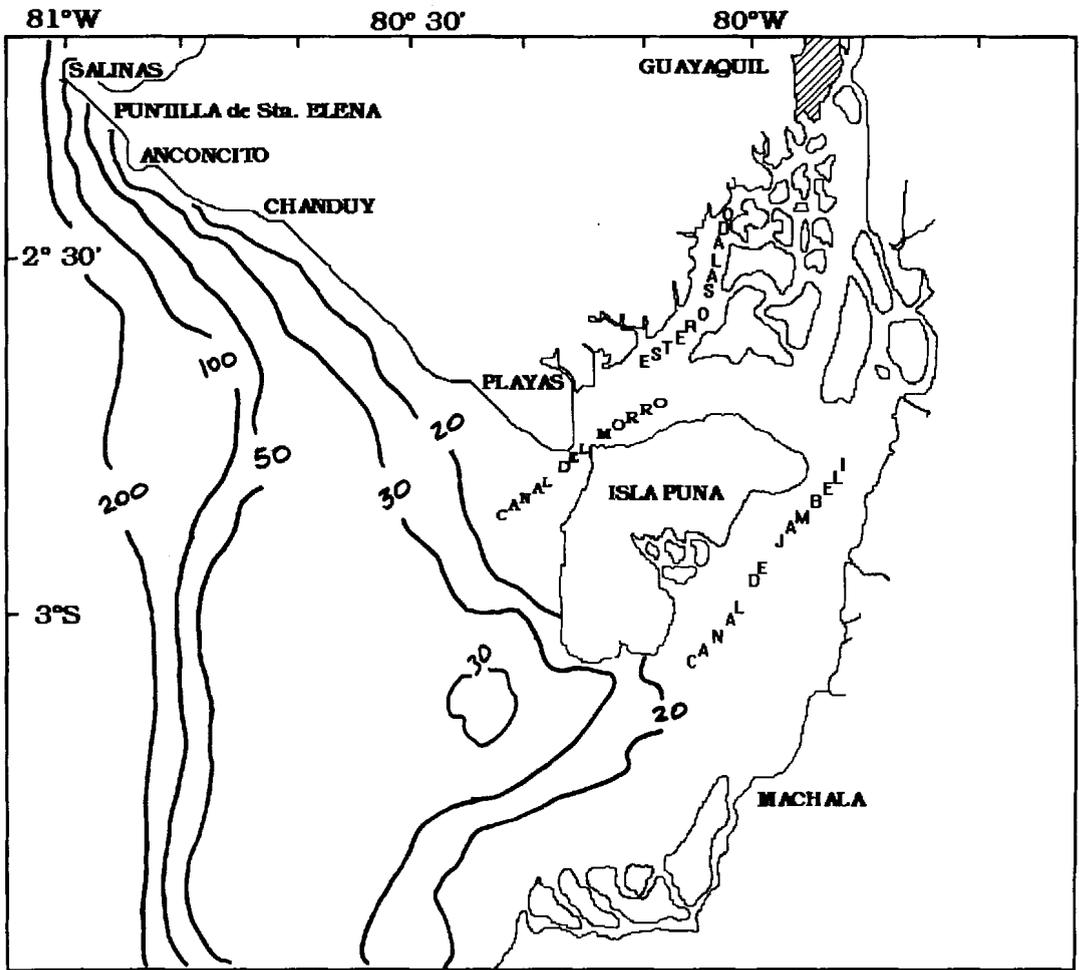


Figura 6.- BATIMETRIA DEL AREA DE ESTUDIO

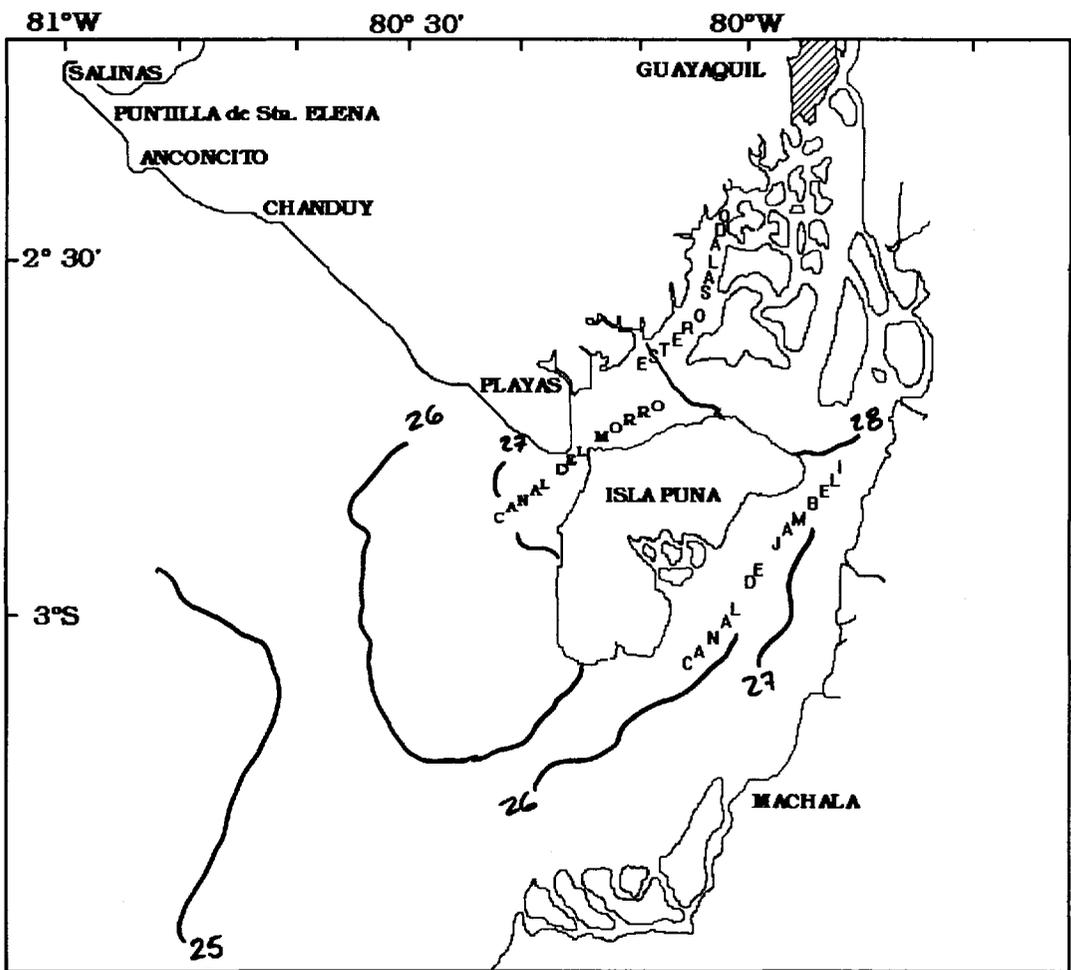


Figura 7.- DISTRIBUCION DE LAS NORMALES DE LA TEMPERATURA DURANTE LA ESTACION LLUVIOSA

INDICE DE TABLAS

Tabla./No.		Pág.
I	CONSTANTE DE CALIBRACION DE LA BANDA TERMAL LANDSAT -----	107
II	TRANSFORMACION DE NUMEROS DIGITALES A TEMPERATURAS -----	108
III	DATOS "IN SITU" OBTENIDOS EN INOCAR -----	119
IV	CALCULO DE LA INFLUENCIA ATMOSFERICA Y CALIBRACION DE LA IMAGEN -----	119
V	NIVELES DE MAREAS Y DATOS ASTRONOMICOS DEL SOL Y LA LUNA (INOCAR 1991) -----	120

Tabla I.- Constantes de Calibracion de la Banda Termal Landsat

SATELITE	CONSTANTE 1	CONSTANTE 2
	K_1 (K)	K_2 $mW * cm^{-2} * ster^{-1} * \mu m^{-1}$
LANDSAT - 5	60.776	1260.56

Tabla II.- Transformación de Número Digitales a Temperaturas

ND (Qcal)	L (Rad.)	T (°K)	T (°C)
0	0,12	203,37	-69,63
1	0,13	204,84	-68,16
2	0,14	206,26	-66,74
3	0,14	207,65	-65,35
4	0,15	209,00	-64,00
5	0,15	210,31	-62,69
6	0,16	211,59	-61,41
7	0,16	212,84	-60,16
8	0,17	214,07	-58,93
9	0,17	215,26	-57,74
10	0,18	216,43	-56,57
11	0,19	217,58	-55,42
12	0,19	218,70	-54,30
13	0,20	219,81	-53,19
14	0,20	220,89	-52,11
15	0,21	221,95	-51,05
16	0,21	222,99	-50,01
17	0,22	224,02	-48,98
18	0,23	225,03	-47,97
19	0,23	226,02	-46,98
20	0,24	227,00	-46,00
21	0,24	227,96	-45,04
22	0,25	228,91	-44,09
23	0,25	229,85	-43,15
24	0,26	230,77	-42,23
25	0,26	231,68	-41,32

26	0,27	232,57	-40,43
27	0,28	233,46	-39,54
28	0,28	234,33	-38,67
29	0,29	235,19	-37,81
30	0,29	236,04	-36,96
31	0,30	236,88	-36,12
32	0,30	237,72	-35,28
33	0,31	238,54	-34,46
34	0,32	239,35	-33,65
35	0,32	240,15	-32,85
36	0,33	240,95	-32,05
37	0,33	241,73	-31,27
38	0,34	242,51	-30,49
39	0,34	243,28	-29,72
40	0,35	244,04	-28,96
41	0,35	244,80	-28,20
42	0,36	245,54	-27,46
43	0,37	246,28	-26,72
44	0,37	247,01	-25,99
45	0,38	247,74	-25,26
46	0,38	248,46	-24,54
47	0,39	249,17	-23,83
48	0,39	249,88	-23,12
49	0,40	250,58	-22,42
50	0,41	251,27	-21,73
51	0,41	251,96	-21,04

52	0,42	252,64	-20,36
53	0,42	253,32	-19,68
54	0,43	253,99	-19,01
55	0,43	254,66	-18,34
56	0,44	255,32	-17,68
57	0,44	255,97	-17,03
58	0,45	256,63	-16,37
59	0,46	257,27	-15,73
60	0,46	257,91	-15,09
61	0,47	258,55	-14,45
62	0,47	259,18	-13,82
63	0,48	259,81	-13,19
64	0,48	260,43	-12,57
65	0,49	261,05	-11,95
66	0,50	261,66	-11,34
67	0,50	262,28	-10,72
68	0,51	262,88	-10,12
69	0,51	263,48	-9,52
70	0,52	264,08	-8,92
71	0,52	264,68	-8,32
72	0,53	265,27	-7,73
73	0,53	265,85	-7,15
74	0,54	266,44	-6,56
75	0,55	267,02	-5,98
76	0,55	267,59	-5,41
77	0,56	268,17	-4,83

78	0,56	268,74	-4,26
79	0,57	269,30	-3,70
80	0,57	269,86	-3,14
81	0,58	270,42	-2,58
82	0,59	270,98	-2,02
83	0,59	271,53	-1,47
84	0,60	272,08	-0,92
85	0,60	272,63	-0,37
86	0,61	273,18	0,18
87	0,61	273,72	0,72
88	0,62	274,26	1,26
89	0,63	274,79	1,79
90	0,63	275,32	2,32
91	0,64	275,85	2,85
92	0,64	276,38	3,38
93	0,65	276,91	3,91
94	0,65	277,43	4,43
95	0,66	277,95	4,95
96	0,66	278,47	5,47
97	0,67	278,98	5,98
98	0,68	279,49	6,49
99	0,68	280,00	7,00
100	0,69	280,51	7,51
101	0,69	281,01	8,01
102	0,70	281,52	8,52
103	0,70	282,02	9,02

104	0,71	282,51	9,51
105	0,72	283,01	10,01
106	0,72	283,50	10,50
107	0,73	283,99	10,99
108	0,73	284,48	11,48
109	0,74	284,97	11,97
110	0,74	285,46	12,46
111	0,75	285,94	12,94
112	0,75	286,42	13,42
113	0,76	286,90	13,90
114	0,77	287,37	14,37
115	0,77	287,85	14,85
116	0,78	288,32	15,32
117	0,78	288,79	15,79
118	0,79	289,26	16,26
119	0,79	289,73	16,73
120	0,80	290,20	17,20
121	0,81	290,66	17,66
122	0,81	291,12	18,12
123	0,82	291,58	18,58
124	0,82	292,04	19,04
125	0,83	292,49	19,49
126	0,83	292,95	19,95
127	0,84	293,40	20,40
128	0,84	293,85	20,85
129	0,85	294,30	21,30

130	0,86	294,75	21,75
131	0,86	295,20	22,20
132	0,87	295,64	22,64
133	0,87	296,09	23,09
134	0,88	296,53	23,53
135	0,88	296,97	23,97
136	0,89	297,41	24,41
137	0,90	297,84	24,84
138	0,90	298,28	25,28
139	0,91	298,71	25,71
140	0,91	299,14	26,14
141	0,92	299,58	26,58
142	0,92	300,01	27,01
143	0,93	300,43	27,43
144	0,93	300,86	27,86
145	0,94	301,29	28,29
146	0,95	301,71	28,71
147	0,95	302,13	29,13
148	0,96	302,55	29,55
149	0,96	302,97	29,97
150	0,97	303,39	30,39
151	0,97	303,81	30,81
152	0,98	304,23	31,23
153	0,99	304,64	31,64
154	0,99	305,05	32,05
155	1,00	305,47	32,47

156	1,00	305,88	32,88
157	1,01	306,29	33,29
158	1,01	306,69	33,69
159	1,02	307,10	34,10
160	1,02	307,51	34,51
161	1,03	307,91	34,91
162	1,04	308,32	35,32
163	1,04	308,72	35,72
164	1,05	309,12	36,12
165	1,05	309,52	36,52
166	1,06	309,92	36,92
167	1,06	310,32	37,32
168	1,07	310,71	37,71
169	1,08	311,11	38,11
170	1,08	311,50	38,50
171	1,09	311,90	38,90
172	1,09	312,29	39,29
173	1,10	312,68	39,68
174	1,10	313,07	40,07
175	1,11	313,46	40,46
176	1,12	313,85	40,85
177	1,12	314,23	41,23
178	1,13	314,62	41,62
179	1,13	315,01	42,01
180	1,14	315,39	42,39
181	1,14	315,77	42,77

182	1,15	316,16	43,16
183	1,15	316,54	43,54
184	1,16	316,92	43,92
185	1,17	317,30	44,30
186	1,17	317,67	44,67
187	1,18	318,05	45,05
188	1,18	318,43	45,43
189	1,19	318,80	45,80
190	1,19	319,18	46,18
191	1,20	319,55	46,55
192	1,21	319,92	46,92
193	1,21	320,29	47,29
194	1,22	320,66	47,66
195	1,22	321,03	48,03
196	1,23	321,40	48,40
197	1,23	321,77	48,77
198	1,24	322,14	49,14
199	1,24	322,50	49,50
200	1,25	322,87	49,87
201	1,26	323,24	50,24
202	1,26	323,60	50,60
203	1,27	323,96	50,96
204	1,27	324,32	51,32
205	1,28	324,69	51,69
206	1,28	325,05	52,05
207	1,29	325,41	52,41

208	1,30	325,76	52,76
209	1,30	326,12	53,12
210	1,31	326,48	53,48
211	1,31	326,84	53,84
212	1,32	327,19	54,19
213	1,32	327,55	54,55
214	1,33	327,90	54,90
215	1,33	328,25	55,25
216	1,34	328,61	55,61
217	1,35	328,96	55,96
218	1,35	329,31	56,31
219	1,36	329,66	56,66
220	1,36	330,01	57,01
221	1,37	330,36	57,36
222	1,37	330,71	57,71
223	1,38	331,05	58,05
224	1,39	331,40	58,40
225	1,39	331,75	58,75
226	1,40	332,09	59,09
227	1,40	332,44	59,44
228	1,41	332,78	59,78
229	1,41	333,12	60,12
230	1,42	333,46	60,46
231	1,42	333,81	60,81
232	1,43	334,15	61,15
233	1,44	334,49	61,49

234	1,44	334,83	61,83
235	1,45	335,17	62,17
236	1,45	335,51	62,51
237	1,46	335,84	62,84
238	1,46	336,18	63,18
239	1,47	336,52	63,52
240	1,48	336,85	63,85
241	1,48	337,19	64,19
242	1,49	337,52	64,52
243	1,49	337,86	64,86
244	1,50	338,19	65,19
245	1,50	338,52	65,52
246	1,51	338,85	65,85
247	1,51	339,18	66,18
248	1,52	339,52	66,52
249	1,53	339,85	66,85
250	1,53	340,18	67,18
251	1,54	340,50	67,50
252	1,54	340,83	67,83
253	1,55	341,16	68,16
254	1,55	341,49	68,49
255	1,56	341,81	68,81

Tabla III.- Datos "In Situ" obtenidos en Inocar

ESTACION	LATITUD Φ	LONGITUD Λ	FECHA	HORA	T°C
1	3.03° S	81.03° W	12/MARZO/1991	09H30	25
2	2.87° S	81.62° W	12/MARZO/1991	06H308	24

Tabla IV.- Cálculo de la Influencia Atmosférica y Calibración de la Imagen

CLASES	ND	T°C PLANCK (Tabla 1)	T°C "In Situ" INOCAR	ΔT	T°C REAL
1	115 - 116	15	---	---	23
2	117 - 118	16	24	8	24
3	119 - 120	17	25	8	25
4	121 - 122	18	---	---	26
5	123 - 124	19	---	---	27
6	125 - 126	20	---	---	28

**Tabla V.- Niveles de Mareas y Datos Astronómicos del Sol y la Luna
(INOCAR 1991)**

POSORJA		
FECHA	HORA	ALTURA (M)
ABRIL - 29 - 1991	0533	2.5
"	1145	0.4
"	1742	2.5

PUNA		
FECHA	HORA	ALTURA (M)
ABRIL - 29 - 1991	0000	0.2
"	0614	3.8
"	1219	0.4
"	1821	3.7

GUAYAQUIL		
FECHA	HORA	ALTURA (M)
ABRIL - 29 - 1991	0214	0.2
"	0748	4.4
"	1427	0.4
"	1957	4.3

PUERTO BOLIVAR		
FECHA	HORA	ALTURA (M)
ABRIL - 29 - 1991	0514	2.9
"	1059	0.5
"	1719	2.9
"	2314	0.2

INDICE DE IMAGENES

Imagen./No.	Pág.
1 CANAL 4 CON MASCARA SOBRE AGUA -----	121
2 CANAL 6 CLASIFICADA -----	122



Imagen 1.- CANAL 4 CON MASCARA SOBRE AGUA

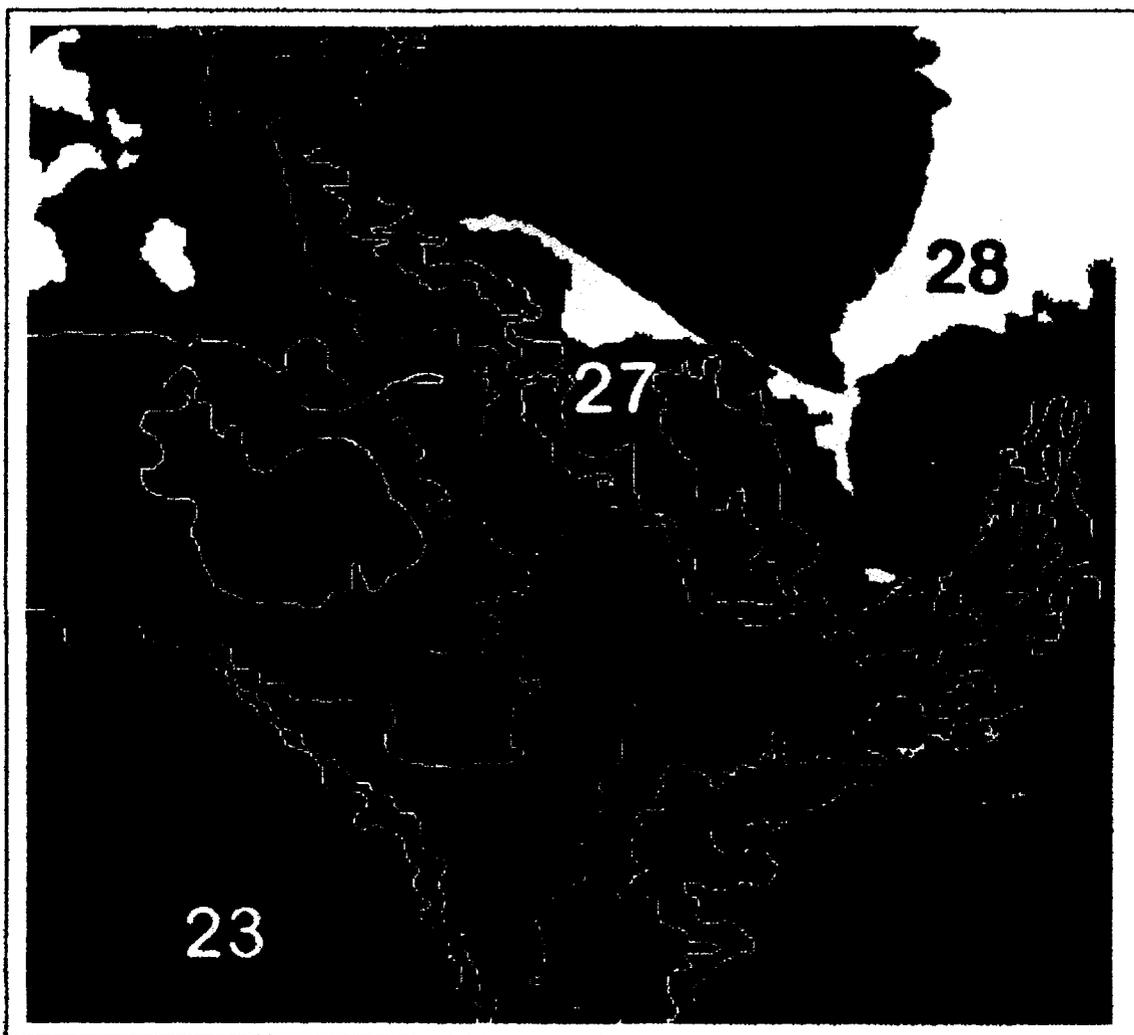


Imagen 2.- CANAL 6 CLASIFICADA