



**ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL**

**FACULTAD DE INGENIERIA MARITIMA Y CIENCIAS DEL
MAR**



BIBLIOTECA
FAC. ING.
MARITIMA

**“ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE EL NIÑO-
OSCILACIÓN SUR DE 1982-1983 USANDO
IMÁGENES SATÉLITE E INFORMACIÓN IN-SITU
PARA EL OCÉANO PACÍFICO TROPICAL ENTRE 81°
- 91° OESTE.”**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del título de:

OCEANOGRAFO

Presentada por:

PAOLA B. ALMEIDA GUERRA

**GUAYAQUIL-ECUADOR
1996**

AGRADECIMIENTO



UNIVERSIDAD
DE MAGALLANES
FAC. III

Al Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR) por haber facilitado los datos necesarios para la elaboración de éste trabajo.

Al Dr. José Luis Santos, por su acertada dirección en la realización de esta Tesis.

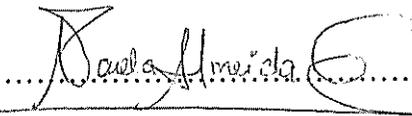
Mi más sincero agradecimiento a las personas que con su apoyo tanto moral como intelectual me brindaron su ayuda en la elaboración y culminación de esta Tesis, en especial a mi familia y mi amigo David.

DECLARACION EXPRESA



ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA
DEL LITORAL

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

.....

Paola Almeida Guerra



BIBLIOTECA
FAC. ING.
MARIITIMA

Ing. Eduardo Cervantes
Presidente del Tribunal

Dr. José Luis Santos D.
Director de Tesis

Ing. Enrique Sánchez
Miembro Principal

Lic. Mercy Borbor
Miembro Principal



RESUMEN

BIBLIOTECA
FAC. ING.
QUITO

Este trabajo presenta una intercomparación entre la relación que guardan la información proveniente de cruceros oceanográficos (mediciones in-situ) y aquella obtenida mediante satélites (mediciones remotas). Indicando además cuales son las ventajas y desventajas de cada uno de ellos como fuentes de información para el diagnóstico y pronóstico de eventos oceánicos, como una aplicación práctica se analizó el caso específico de lo ocurrido durante el evento ENOS 82 - 83, por ser este uno de los más representativos y por tratarse de un evento a escala global y de gran interés para toda la comunidad científica en especial oceanógrafos y meteorólogos.

En forma complementaria se efectuó un análisis de los valores pluviométricos de los últimos 45 años de diez estaciones meteorológicas y su relación con las tres categorías de un año ENOS (El Niño, La Niña y Normal); se estudiaron cuales son las características de cada anomalía con respecto al porcentaje de lluvias registrado para estos años, que factores influyen los efectos de estas anomalías y cual es el patrón de comportamiento para cada región del Ecuador.

La mayoría de los datos usados en este trabajo fueron obtenidos a través de la red INTERNET, demostrando así la gran importancia de este medio como fuente de información para trabajos científicos y tecnológicos de todo nivel.

INDICE GENERAL



ESCUELA DE CIENCIAS
MARITIMAS
MARITIMAS

pag.

RESUMEN	III
INDICE GENERAL	IV
INTRODUCCION	7
I. LOS SENSORES REMOTOS	10
1.1 Los sensores remotos	10
1.2 Historia de los sensores remotos	14
1.3 Aplicación de los sensores remotos	16
1.4 Principales satélites de la actualidad y su campo de acción	22
1.4.1 Orbitas especiales descritas por los satélites	22
1.4.2 Características de los satélites	24
1.5 Futuro de los sensores remotos	26
1.6 Ventajas de Internet	27
II. ANTECEDENTES TEORICOS DE UN EVENTO DE EL NIÑO	30
2.1 Definición de un evento de El Niño-Oscilación Sur (ENOS)	30
2.2 Teorías y posibles causas que lo determinan	32

2.2.1 Sistema Océano - Atmósfera	33
2.2.2 Relación de la Oscilación Sur y el evento de El Niño	35
2.2.3 Evolución de nuevos conceptos	37
2.3 Antecedentes históricos de eventos El Niño	40
2.4 El evento El Niño-Oscilación del Sur 1982-1983	44
2.4.1 Efectos y consecuencias de un evento de El Niño	44
2.4.2 Características generales de El Niño 82-83	45
2.4.3 Formación, desarrollo y manifestaciones	46
2.4.4 Efectos de El Niño 82-83	48
III. TRATAMIENTO DE LAS IMAGENES DE SATELITE	53
3.1 Características generales del set de CDs utilizados	53
3.2 Generalidades del tratamiento de imágenes	55
3.3 Descripción de los programas utilizados	59
IV. PRESENTACION Y DESCRIPCION DE LA INFORMACION	61
4.1 Descripción de la información	61
4.1.1 Imágenes de satélite y gráficos de TSM	61
4.1.2 Gráficos de valores pluviométricos	64
4.2 Presentación de los diagramas ombrotérmicos	70

V. ANALISIS Y RESULTADOS	72
5.1 Análisis y resultados de las imágenes de satélite y gráficos de TSM..	72
5.1.1 Análisis y comparación de las imágenes de satélite y gráficos de TSM	72
5.1.2 Resultados del análisis de las imágenes y gráficos de TSM	80
5.2 Análisis y resultados de los valores pluviométricos	85
5.2.1 Análisis y comparación de los gráficos pluviométricos y diagramas ombrotérmicos	85
5.2.2 Resultados del análisis de los valores pluviométricos	88
5.3 Presentación de las imágenes, gráficos de TSM y pluviométricos ..	91
 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	97
BIBLIOGRAFIA	102



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
 FACULTAD DE INGENIERIA
 GUAYAQUIL

INDICE DE FIGURAS

	pag.
Figura N-1.- Sección del espectro electromagnético de especial interés en la lectura remota	13
Figura N-2.- Diagramas ombrotérmicos de las estaciones seleccionadas	71
Figura N-3.- TSM obtenida a partir de datos de satélite y de cruceros para Marzo-Abril de 1982.....	92
Figura N-4.- TSM obtenida a partir de datos de satélite y de cruceros para Agosto y Noviembre de 1982.....	93
Figura N-5.- TSM obtenida a partir de datos de satélite y de cruceros para Enero-Febrero de 1983.....	94
Figura N-6.- TSM obtenida a partir de datos de satélite y de cruceros para Noviembre de 1983.....	95
Figura N-7.- Diferencia entre categorías ENSO para valores de precipitación mensual.....	96
Figura N-8- Proceso de intensificació ^{l m} del Régimen de Precipitación en la Región Plana Continental durante ENOS.....	91

INDICE DE TABLAS

	pag.
Tabla I. Intensidades de un evento de El Niño	42
Tabla II. Categorías de los años ENSO	43
Tabla III. Principales efectos de un evento El Niño	44
Tabla IV y V. Características de los cruceros	63



INSTITUTO DE OCEANOGRAFIA Y RECURSOS PELAGICOS
MINISTERIO DE PESQUERIAS Y DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
SANTO DOMINGO, D.R.

INTRODUCCION

Mucho se ha estudiado acerca de la anomalía océano-atmosférica denominada “El Niño”, y sin embargo hasta la presente fecha aún no existen teorías, ni conclusiones cien por ciento valederas acerca de su origen, causas y características, pero sí conocemos a ciencia cierta cuales son sus consecuencias, efectos e impactos climáticos y económicos a nivel mundial. A pesar de la estrecha relación de este evento con todas las actividades desarrolladas por el hombre, aún no se logra establecer una teoría que pueda prevenir eficazmente sus catastróficos efectos.

Específicamente el Evento de El Niño de los años 82-83 fue de una magnitud extraordinaria y características catastróficas a nivel mundial y fue precisamente a partir de este desastroso evento que se realizaron un sinnúmero de investigaciones acerca de esta anomalía, las que llevaron a un mejor entendimiento y conocimiento del mismo. Un cierto éxito en lo que se refiere a la predicción del Niño se ha logrado gracias a las nuevas técnicas y modelos numéricos océano-atmosféricos que han sido desarrollados durante las últimas décadas. (Enfield 1987)

Se trata de un tema que en sí no necesita una amplia introducción en lo que se refiere a “El Niño” como tal, pero sí en cuanto a los avances, técnicas y nueva metodología usada en la actualidad no solo para el estudio de éste en particular sino para todo tipo de anomalías y eventos naturales que suceden día a día alrededor nuestro. Uno de los

grandes avances tecnológicos que ha colaborado en gran medida en lo que se refiere a la toma de decisiones y mecanismos a emplearse son sin duda alguna los sensores remotos, gracias a ellos se puede obtener una cantidad invaluable de información de todo el planeta sobre diversos aspectos y de esta forma reducir los efectos provocados por los eventos naturales en general. A esto se suma el hecho de que la obtención e intercambio de información en tiempo casi real ha ayudado tremendamente en los últimos años gracias al uso cada vez más frecuente y por parte de más personas, de la red INTERNET.

Lo anteriormente señalado es de suma importancia en todo lo que se refiere a las actividades desarrolladas a nivel global, y es por esto que con el desarrollo de esta tesis se tratará de aportar a las investigaciones y documentación existente en lo referente al evento de El Niño, enfocándonos en el uso de sensores remotos y las imágenes de satélite obtenidas por medio de éstos y la información in-situ proveniente de cruceros oceanográficos realizados por el B/I ORION de la Armada Nacional.

Como complemento a esta información realizaremos una regionalización preliminar del Ecuador, mediante la selección de las principales estaciones meteorológicas existentes en el país, de las cuales hemos extraído los datos pertenecientes a una serie de precipitación de aproximadamente 50 años. Haremos un análisis de la relación existente entre los valores pluviométricos y la ocurrencia de ciertas anomalías como El Niño y La Niña y señalaremos las características principales de cada uno de estos.



INSTITUTO ECUATORIANO
DE METEOROLOGIA
E HIDROLOGIA



en la pág. anterior ??

I. LOS SENSORES REMOTOS

1.1 QUE SON LOS SENSORES REMOTOS

El uso de sensores remotos ha facilitado enormemente los estudios en diversos campos de la ciencia. Los sensores remotos y la obtención de imágenes de satélite en la actualidad constituyen una herramienta indispensable para todos los científicos, especialmente oceanógrafos y meteorólogos, muchos avances se han logrado a partir de haber sido generalizado su uso, muchos se han beneficiado, y no cabe duda que existirán en el futuro nuevas aplicaciones que seguirán aportando en el conocimiento y entendimiento de los recursos y procesos naturales respectivamente.

Durante la década pasada las imágenes y datos obtenidos por medio de los diversos satélites han llegado a jugar un importante papel en el estudio, documentación y mapeo de los suelos y aguas del mundo. Todo esto no hubiera sido posible sin los sensores remotos que han contribuido de varias maneras a la evaluación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del medio ambiente. (Larson et al., 1993)

La percepción remota es la ciencia que se encarga de adquirir información de los objetos distantes por medio de mediciones, sin necesidad de hacer contacto con ellos. La principal base física para ésta es la capacidad de los instrumentos sensores para medir variaciones espectrales, espaciales o temporales en los campos energéticos. Para que se lleve a cabo la percepción remota se requiere:

- a) Fuente emisora de energía,
- b) Objeto de estudio que emita o refleje la energía
- c) Sistema capaz de captar información
- d) Distancia entre el objeto de estudio y el sistema que capta la información

El sensor remoto, es un instrumento, órgano o sistema que detecta a distancia una propiedad específica de un objeto midiendo algún tipo de radiación o emanación proveniente de él.

Dependiendo de como funcione el sistema existen dos tipos: sistemas sensores remotos pasivos y sistemas sensores remotos activos. En el primero de los casos el sistema recibe la radiación que llega desde el objeto que es monitoreado y almacena estos datos en una memoria, este sería el caso de las fotografías aéreas; en el segundo caso el sistema transmite y recibe energía,

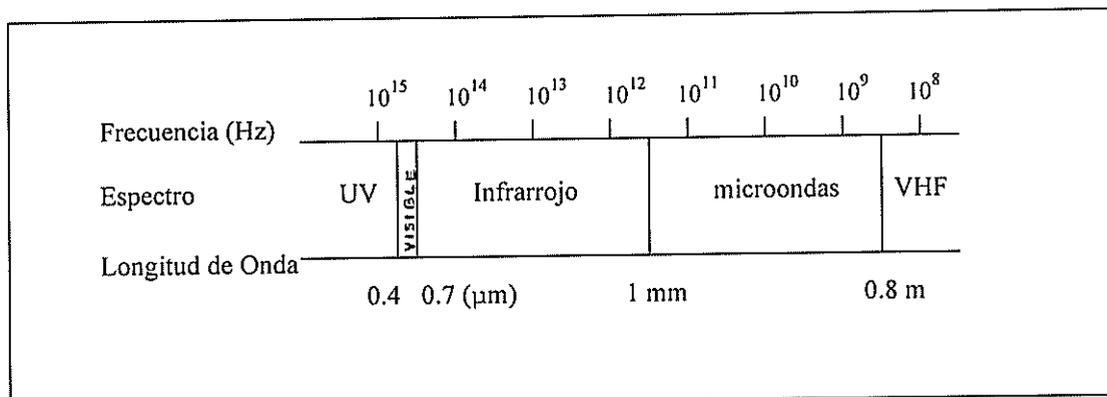
además de almacenar la radiación que es reflectada desde el objetivo, entre estos tenemos El Lidar que usa el láser como fuente de energía y el radar, que utiliza microondas. Cabe destacar que la mayoría de los satélites meteorológicos que están siendo utilizados emplean la primera técnica.

A fin de analizar y evaluar las imágenes proporcionadas por los satélites a través de los sensores remotos, es necesario conocer ciertos antecedentes técnicos que a continuación describiremos brevemente:

Espectro electromagnético.- Podemos definir la radiación electromagnética como el transporte de energía en forma de un tren de ondas, en donde la longitud de onda puede diferir. A la izquierda del espectro se encuentran las longitudes de onda corta o radiación ultravioleta ($0.3 - 0.4 \mu\text{m}$), le sigue una diminuta franja denominada luz visible ($0.4 - 0.7\mu\text{m}$) y a la derecha radiación infrarroja ($0.7 - 1000\mu\text{m}$). Para nosotros en lo que se refiere a sensores remotos la más importante es la franja visible y la cercana al infrarrojo en donde se pueden utilizar las películas fotográficas y los sensores.



Figura No. 1 Sección del espectro electromagnético de especial interés en la lectura remota (Larson et al., 1993)



Reflexión espectral.- Es un proceso que se observa cuando la luz proveniente del sol incide sobre un objeto, parte de la radiación es absorbida y la otra reemitida. La diferencia de radiación reemitida de los objetos nos indica características propias de cada uno. Por ejemplo el agua clara absorberá la mayor parte de la luz solar y reemitirá un porcentaje muy pequeño al satélite, en cambio el agua turbia reemitirá más radiación. (Larson et al. , 1993)

Se puede decir entonces que el principio fundamental de los sensores remotos en el cual radica su gran ventaja sobre otros métodos de recopilación de información, es la gran cobertura simultánea de áreas de interés y sobre todo la facilidad con la que se puede obtener valiosa información sin la necesidad de establecer contacto físico con el área de interés.

1.2 HISTORIA DE LOS SENSORES REMOTOS

En si la historia del desarrollo de los sensores remotos está determinada por dos etapas: antes de los años 60 y a partir de esta década. Antes de los años 60 las fotografías aéreas constituían el único sistema disponible para desarrollar los sensores remotos y fueron utilizados sobre todo con propósitos militares.

A partir de los años 60 el rumbo de los sensores remotos toma un giro radical, debiéndose esto principalmente a la colocación de sistemas de sensores remotos en el espacio por parte de la NASA, con el propósito de realizar observaciones de la Tierra y más adelante con las misiones tripuladas que llegaron a la Luna, a continuación presentamos un breve resumen de la evolución de los sistemas de sensores remotos desde la creación del Programa de Estudio de los Recursos Terrestres dentro de la NASA (SPRT de sus siglas en inglés):

- En 1960 comienzan las observaciones sistemáticas de la Tierra por parte del satélite meteorológico TIROS-I (Television Infra Red Observational Satellite), y más tarde por los satélites ITOS

- En 1964 se inició el boom de las comunicaciones vía satélite, luego de que el Syncom 3 permitiera el enlace directo entre las redes de televisión de Japón y EE.UU. con motivo de los Juegos Olímpicos de Tokio de 1964
- En 1972 se lanzó al espacio el primer satélite diseñado exclusivamente para la recolección de información de la superficie y recursos terrestres el ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite), más adelante se modificó el nombre de esta serie por Landsat
- En 1973 la primera estación espacial, Skylab, fue lanzada al espacio
- En 1978 la misión HCMM fue lanzada al espacio con el propósito de diferenciar la superficie de diferentes materiales e identificar la calidad del suelo basado en inercia térmica (propiedad de una sustancia para resistir los cambios de temperatura cuando la energía incidente varía). En junio de este mismo año se lanzó la serie Seasat-1, que fue la primera con fines de investigación exclusivamente oceanográfica
- En 1984 la Agencia Espacial del Japón (NASDA) lanzó al espacio su primer satélite de observación marina (MOS-1)

- En 1986 la Agencia Espacial Europea (ESA) puso en órbita al SPOT-1
- En 1990 Canadá lanzó al espacio un satélite con características de radar denominado Radarsat cuyo propósito era el de proveer información acerca del océano abierto y congelado.

1.3 APLICACION DE LOS SENSORES REMOTOS

Como se puede apreciar de las explicaciones antes mencionadas, resulta obvio pensar que debido a las grandes ventajas que estos sistemas ofrecen, se han convertido en una herramienta de la vida diaria y cada día son más sus aplicaciones en diversos campos, podríamos decir entonces que la aplicación de los sensores remotos llegó para quedarse, ya que continuamente se modifica y mejora su tecnología.

Los satélites artificiales tienen muchas y variadas funciones, y aquella en la que más se utiliza en la actualidad es como sensores remotos. A continuación mencionamos las principales aplicaciones de éstos.

En la arqueología y antropología la principal aportación de los sensores remotos consiste en la determinación del “sitio específico” donde existe algún interés histórico. A esta técnica se la ha denominado arqueología no-destructiva debido a la gran cantidad de información obtenida mediante sistemas de sensores remotos, sin llegar a tocar ningún resto físico existente en el terreno.

La aplicación de los sensores remotos en el análisis del clima y tiempo ha sido una de las más significativas y utilizadas en todo el mundo. Este análisis se lleva a cabo por medio de satélites geoestacionarios que indican de forma certera la posición de tormentas, su tamaño e intensidad, nubosidad, estimaciones de precipitación, intensidad de los vientos, etc. La determinación temprana de huracanes y ciclones ha sido de gran ayuda, ya que gracias a su pronóstico eficaz se ha logrado contrarrestar en parte sus efectos destructivos.

La ayuda que han brindado los sistemas satelitarios a la oceanografía, ya sea esta biológica, química, física o geológica ha sido enorme. El uso de éstos ha facilitado la obtención de información que antes solo se obtenía de buques con técnicas convencionales, como el lanzamiento de aparatos que realizan mediciones in-situ, actualmente estas dos técnicas se combinan y de esta forma proporcionan información más precisa y completa para el análisis e

interpretación de la misma. En lo que se refiere a la Oceanografía Física, el aporte de estos sistemas ofrece una variedad de datos como la temperatura superficial del mar (TSM), salinidad, partículas en suspensión, corrientes, estado del mar, mareas y olas. En el caso de la Oceanografía Biológica es posible identificar masas planctónicas, núcleos de peces y otros organismos, clorofila y nutrientes existentes que permiten establecer la presencia de afloramientos.

(
En el caso de la Oceanografía Geológica, los procesos costeros como erosión y sedimentación pueden ser analizados. En lo que se refiere a Oceanografía Química, mediante este método es posible determinar focos contaminantes y sus concentraciones, ya sea observando coloraciones inusuales de las masas acuáticas o en el caso de contaminación térmica debido a los aumentos excesivos de TSM.

Otro de los usos de los sensores remotos es en el aprovechamiento de tierras y distribución de la población en áreas urbanas y suburbanas. Por medio de sensores remotos se puede determinar la extensión de áreas residenciales, determinar hacia donde se está extendiendo una determinada zona, número de habitantes y la ubicación de núcleos industriales y áreas comerciales.

Los sensores remotos son muy utilizados en el campo de la geología para la realización de mapas topográficos. En la Geología Económica los sensores se los utiliza en la búsqueda de yacimientos de carbón, metales y no metales, petróleo y gas. Otra aplicación para los sensores remotos es la de pronosticar erupciones volcánicas, el desplazamiento, dirección y posición de las placas continentales y de los icebergs.

En el campo de la minería como ya indicamos se los utiliza en la detección de yacimientos minerales como cobre, molibdeno, uranio, etc., ha sido tanto el aporte en este campo que en la actualidad existen muchos laboratorios y empresas mineras que basan sus perforaciones y exploraciones en los resultados dados por las imágenes de satélite.

En la agricultura éstos indican los tipos de suelo en donde posibles actividades agrarias se pueden llevar a cabo, basándose en el color del suelo, contenido mineral y materia orgánica presente, complementándose los estudios mediante los resultados climatológicos obtenidos. Son utilizados además para el control de las plagas ya que se puede obtener información periódica sobre el estado y evolución de los cultivos.

En lo que se refiere al control de los recursos naturales, específicamente en el caso de los bosques, los sensores remotos son capaces de detectar la presencia de los mismos y llevar un control sobre las actividades de deforestación realizadas. Como corolario especial cabe señalar que gracias a sistemas de sensores remotos se realizan censos y control de poblaciones animales (número, localización, sexo, especie y comportamiento) con el fin de mantener un equilibrio entre las necesidades alimenticias de estos y los recursos existentes en estas áreas.

Una de las más recientes aplicaciones de sistemas de sensores remotos ha sido en los satélites de comunicación, éstos han agilitado extraordinariamente la emisión y recepción de noticias.

Existen además satélites de navegación, que permiten calcular la posición de buques y aviones con mayor exactitud. Este tipo de satélites son de gran interés desde el punto de vista militar. Dentro de este último enfoque tenemos a los satélites militares cuyas misiones consisten principalmente en el reconocimiento fotográfico, alarma contra proyectiles balísticos, detección de pruebas nucleares, entre otros.

Igualmente se los utiliza para el estudio de otros cuerpos celestes como la Luna y otros planetas de nuestro sistema solar entre ellos, Marte, Júpiter, Saturno y Venus. Gracias a ellos se conoce hoy en día un poco más sobre la estructura, composición y contenido mineralógico y comportamiento de estos cuerpos.

Cabe destacar que muchas de las aplicaciones que hemos mencionado son imposibles de realizar con otras formas de tecnología. Los sensores remotos constituyen una herramienta muy útil para las diversas ramas de la ciencia; y sus aplicaciones al parecer son interminables, muchas veces resulta sorprendente los grandes avances que se han logrado gracias a ellos. Por esta razón, dada la gran cantidad de aplicaciones que se les ha encontrado a los sensores remotos en su corto tiempo de existencia, cabe esperar que en el futuro se conviertan en unos de los más inapreciables baluartes de nuestro desarrollo tecnológico y científico.

1.4 PRINCIPALES SATELITES EN LA ACTUALIDAD Y SU CAMPO DE ACCION

Las órbitas de los satélites constituyen un factor muy importante en lo que se refiere a la determinación del área que será cubierta, la periodicidad de las imágenes y la información que estas nos proporcionen. Las órbitas satelitarias controlan y son responsables del tiempo que el satélite estará expuesto a la luz solar y por lo tanto la capacidad de éste para transformar la energía solar en energía eléctrica; sirven además para predecir cuando el satélite atravesará por determinado lugar. A continuación mencionaremos algunas de las órbitas descritas por los satélites.

1.4.1 ORBITAS ESPECIALES DESCRITAS POR LOS SATÉLITES

Los satélites pueden medir variables oceánicas de una región específica solo cuando esta determinada región se encuentra en el foco del satélite, es por esto que la elección de la órbita del satélite debe ser muy cuidadosa. Debido a que muchas veces se plantean requerimientos específicos en los satélites, existen algunas órbitas especiales que cumplen con los mismos. Entre las más importantes tenemos:

– **Orbitas Geoestacionarias.-** Estas se llevan a cabo cuando el satélite es lanzado en una órbita ecuatorial y tiene la suficiente altura para que su velocidad angular sea igual a la de su punto subsatelital (punto ubicado en el ecuador). Entre los satélites que describen este tipo de órbita tenemos; aquellos utilizados en comunicaciones, los de la serie GOES por sus siglas en inglés (Geostationary Operational Environmental Satellites) y los Meteosats

– **Orbitas heliosincrónicas.-** Es aquella cuyo plano rota a la misma velocidad que la rotación de la Tierra con respecto al sol. En este caso el satélite observará un determinado punto de la Tierra a la misma hora local cada día y noche. El satélite NOAA-4 tenía esta órbita y por lo tanto este observaba la Tierra todos los días a las 09h00 y 21h00.

– **Orbitas de satélites altimétricos.-** Este tipo de satélites miden la altura del nivel del mar con relación al centro de la Tierra. Estos satélites requieren órbitas que no desplacen la telemetría de mareas a bandas de frecuencia inaceptables.

- **Orbitas polares.-** Estas forman parte de las heliosincrónicas y tienen una órbita circular, generalmente se encuentran a una altura promedio de 850 Km. Proporcionan la máxima cobertura de la Tierra y su gran inclinación permite enfocar la Tierra de polo a polo. Estas órbitas son comunes en los satélites meteorológicos que realizan observaciones diarias y que proporcionan información global de los patrones climáticos y condiciones ambientales.

1.4.2 CARACTERISTICAS DE LOS SATELITES

Los sistemas satelitales pueden ser divididos en dos grandes grupos: sistemas experimentales y sistemas operacionales. Los primeros son instalados en los satélites para probar nuevos sensores y redes temporales con el fin de analizar el tipo de información que estos son capaces de brindar; entre estos tenemos el GEOS-3 y SEASAT. Los operacionales en cambio consisten en una serie de satélites de características similares que miden un anomalía en particular de manera continua, la información y datos obtenidos es distribuida periódicamente, entre los más importantes tenemos la serie de satélites meteorológicos de la NOAA, cuyo propósito consiste en proporcionar

información sobre el clima terrestre; dentro de este mismo campo tenemos a la serie COSMOS de la antigua U.R.S.S. Entre los principales satélites tenemos a los de las series TIROS, ESSA, NOAA y el GOES, además los de la serie SEASAT, Nimbus y Lansat, que están siendo utilizados en la actualidad.

Una vez captada la información por los satélites, el procesamiento de la misma genera algunas dificultades como por ejemplo: la conversión de la información para ser procesada en computadoras, corrección y transformación de la misma, obtención de las coordenadas exactas y por último las imágenes deben ser almacenadas de forma tal que resulten apropiadas para el estudio. Estas labores requieren de gente especializada ya que cualquier error en la lectura de los datos y su interpretación podría generar información errónea que en lugar de brindar ayuda provocaría un caos dentro de la comunidad científica y civil, al basar sus pronósticos en estos resultados.

Como podemos apreciar la mayoría de los satélites actuales tienen fines meteorológicos y de control de recursos naturales, lo cual nos demuestra la importancia de contar con información veraz y confiable sobre lo que esta pasando con el clima global y los recursos de este planeta.



1.5 FUTURO DE LOS SENSORES REMOTOS

INSTITUTO TECNOLÓGICO
DE MÉXICO

En el futuro se seguirán manteniendo las mismas tendencias en lo que se refiere a las aplicaciones de sistemas de sensores remotos, se mantendrá el interés por los estudios climáticos, programas meteorológicos y de control de los recursos naturales, quizás las zonas de interés y el tipo de información que requerirán con el paso del tiempo sea lo único que cambie. Los objetivos de estos satélites también podrían variar, por ejemplo en la actualidad se está dando mucho énfasis a todo lo relativo con la capa de ozono, efecto de invernadero, nivel de mar, concentración de ciertos gases en la atmósfera, etc., por lo que resulta obvio el pensar que las futuras tendencias estarán dirigidas al estudio de los mismos, sus causas, incremento y otras características, como por ejemplo el crecimiento del agujero de ozono localizado sobre la Antártica, el aumento del nivel de mar, la acumulación de ciertos gases como el CO_2 y vapor de agua en la atmósfera; el primero de los cuales principalmente generado por el uso de combustibles fósiles y causante del efecto invernadero, además tenemos que el control sobre los recursos naturales se verá incrementado debido al crecimiento de la población, todo esto en la actualidad ha cobrado gran importancia, pero sin duda alguna en un futuro muy cercano estos estudios y todo lo que pueda proporcionar información sobre los mismos

resultará prácticamente imprescindible para mantener el equilibrio dentro del planeta.

1.6 VENTAJAS DE INTERNET

Se define como INTERNET a una vasta interconexión a nivel mundial de redes de computadoras. La red Internet se inició en la década de los 60 como una red experimental que unía diversas instituciones militares y gubernamentales, esta red se conoció como ARPANET ya que su administración y desarrollo estaba a cargo de ARPA (Advanced Research Projects Administrations). Con el tiempo se fueron añadiendo mas nodos a la red tanto en el sector gubernamental como en el sector educativo y de investigación de los EE.UU.

El crecimiento de la red Internet ha sido vertiginoso en los últimos años, debido al desarrollo de herramientas de comunicación más poderosas y fáciles de usar, las cuales han permitido el ingreso de instituciones comerciales y del público en general. En la actualidad la red Internet se calcula en unos cuarenta millones de computadores en todo el mundo. Su tamaño se ha venido incrementando de manera prácticamente exponencial durante algunos años y

ahora con el advenimiento del llamado World Wide Web (WWW), se calcula que el número de personas conectadas a la red se duplica cada tres meses.

La red Internet es utilizada a nivel mundial para la comunicación mediante correo electrónico, lo cual permite el rápido intercambio de ideas e información entre personas ubicadas en puntos muy distantes entre sí. Además existen una gran cantidad de servicios de información en los cuales uno puede investigar sobre prácticamente cualquier tópico en existencia. El servicio más popular en la actualidad es el anteriormente mencionado WWW, el cual consiste en la transferencia de documentos virtuales a través de la red, los cuales permiten una mayor comprensión del mensaje o información que se desea transmitir debido a su carácter gráfico.

Para la elaboración de esta tesis se requirió información de tipo meteorológica de diversos orígenes, incluyendo imágenes de satélite, la cual se puede obtener fácilmente a través de la red Internet. Además se ha requerido realizar diversas consultas a personas especializadas en el tema, la mayoría de las cuales pueden ser localizadas mediante correo electrónico.

Mediante el uso de Internet se ha logrado enormes ahorros de tiempo y dinero en el desarrollo de esta tesis. Por ejemplo, una parte fundamental de esta tesis

es el análisis de imágenes de satélite, la mayor parte de las cuales provienen de una serie de CDROMs de la NASA, de los cuales se hablará más adelante. El análisis de estas imágenes requiere sofisticados programas de tratamiento de imágenes, todos los cuales han sido obtenidos a través de la red Internet. La obtención de estos programas hubiera requerido semanas o meses de espera por los métodos tradicionales, y probablemente habría sido muy difícil siquiera enterarnos de su existencia.

Una de las mayores ventajas de la recopilación de información en la red Internet es la enorme variedad de fuentes a escoger. Los datos requeridos para el desarrollo de esta tesis están disponibles en por lo menos 20 localizaciones distintas, cada una de ellas con distintos servicios y formas de manejar la información. Esta variedad permite al investigador comparar y complementar sus datos de la manera más completa posible. Además, los administradores de esta información son fácilmente accesibles mediante correo electrónico, sencillamente escribiéndoles una carta detallando la información requerida.



ENCUENTRO
1997
(1997/1998)

II. ANTECEDENTES TEORICOS DE UN EVENTO DE EL NIÑO

2.1 DEFINICION DE UN EVENTO DE EL NIÑO-OSCILACION SUR (ENOS)

Existen muchas y variadas teorías y definiciones acerca de lo que es un evento de El Niño y más aún sobre cuales son sus causas, formación y desarrollo.

Es por esta razón que creemos conveniente presentar a continuación algunas de las definiciones más generales y comúnmente aceptadas de lo que es un Evento de El Niño, que para nuestro análisis serán de gran ayuda.

La anomalía conocida como El Niño se trata de un calentamiento anormal de las aguas orientales tropicales del Océano Pacífico que ocurre a intervalos muy variables comprendidos generalmente entre 2-10 años, pero debido a esta gran variabilidad e inestabilidad en su ocurrencia se lo define como un evento aperiódico. Esta anomalía es frecuentemente asociada con impactos climáticos y económicos alrededor de todo el mundo (Enfield, 1988).

El nombre de El Niño proviene originalmente de la relación de la fecha de ocurrencia de este anomalía (diciembre) con la época navideña, en donde se recuerda el nacimiento de El Niño Jesús, nombre dado por pescadores

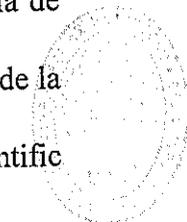
peruanos debido a la aparición de aguas cálidas en las costas occidentales de Sudamérica justamente para este mes de celebraciones navideñas (Enfield, 1987).

Es muy común la confusión de los términos corriente de El Niño y evento de El Niño, y aunque los dos guardan mucha relación se trata de dos acontecimientos totalmente diferentes, sobre todo en lo que se refiere a la regularidad de los mismos. La corriente de El Niño es una invasión de aguas cálidas provenientes de California que bajan hacia las costas de Sudamérica especialmente Ecuador y Perú cada año para los meses comprendidos entre Diciembre-Mayo, es decir se trata de un evento cíclico y periódico; por el contrario el Evento de El Niño consiste en una irregularidad transitoria del sistema océano-atmósfera, es decir no tiene un ciclo o período definido y es por esto que se lo denomina cuasi-periódico. La intensidad de cada evento de El Niño también es muy variable al igual que su ocurrencia. (Santos, 1987)

Este evento inusual de El Niño generalmente dura alrededor de un año, las condiciones anómalas del océano que lo caracterizan en lo que se refiere a temperatura están alrededor de 2° a 8° C de calentamiento de las aguas costeras y superficiales de la capa isotermal, una profundización de la termoclina, un revertimiento de las direcciones de las corrientes costeras, una

reducción de las fuentes de nutrientes a las zonas fóticas donde el fitoplancton crece, y una serie de alteraciones en el ecosistema costero. (Enfield, sf)

Para concluir con las definiciones y características acerca de el Anomalía de El Niño citaremos a continuación la definición dada por el órgano asesor de la Comisión Intergubernamental (COI) de la UNESCO, la SCOR (Scientific Committee on Oceanographic):



INSTITUTO TECNOLÓGICO
CHIMBOTE
1990

*Poner
x claros*

(...El calentamiento eventual de las aguas del Pacífico Tropical Oriental, siendo esta influencia de aguas cálidas especialmente hacia las costas de Ecuador y Perú. Presentando una anomalía térmica de 1.5 a 2.0 grados en la escala Celsius por lo menos sobre la temperatura normal (media de varios años) extendiéndose desde el Ecuador Geográfico hasta más al Sur de 12° de latitud, y permaneciendo esta anomalía no menos de cuatro meses en las tres o cinco estaciones costeras (Talara, Pto. Chicama, Chimbote, Isla Don Martín y Callao... (T.S.S pag 28)(El Niño pag 453)

2.2 TEORIAS Y POSIBLES CAUSAS QUE LO DETERMINAN

Existen muchas teorías acerca de cuales son las posibles causas que determinan un evento de El Niño, pero ninguna de ellas ha sido aceptada en su totalidad, ya que ninguna logra explicar de forma clara y exacta cual es el mecanismo de formación del mismo.

Todas las investigaciones realizadas enfocan esta anomalía desde diversos puntos de vista y cada una aporta en algo al entendimiento del mismo, la mayoría coincide en que se trata de una respuesta dinámica del Océano Pacífico Tropical a una serie de cambios atmosféricos, principalmente en lo que se refiere a dirección e intensidad de los vientos alisios. No fue sino hasta 1960 que el científico Jacob Bjerknes propuso en base a investigaciones realizadas que el evento de El Niño en Sudamérica se trataba de una manifestación regional de interacciones océano-atmósfera a gran escala.

2.2.1 SISTEMA OCÉANO-ATMÓSFERA

A la equivalencia atmosférica de El Niño se la denomina Oscilación Sur (OS), y está directamente relacionada con el proceso de formación de este evento, resulta pues imposible continuar hablando acerca de un evento de El Niño sin mencionar este patrón, por lo que a continuación daremos una explicación de lo que significa Oscilación Sur, su relación con El Niño y sus principales características.

A la Oscilación Sur se la define como la variación consecuente de la presión barométrica a intervalos interanuales relacionada a una anomalía

climática a escala global, principalmente en los trópicos y subtropicos (Walker, 1923).

Las regiones de baja presión atmosférica superficial dominadas por convección tropical (ascenso de aire) y lluvias, como Indonesia, están inversamente correlacionadas con las regiones de alta presión caracterizadas por ser calmadas (descenso de aire) y secas, como el sudeste del Pacífico. En la fase más fuerte de la OS las altas presiones en el sudeste del Pacífico son mayores que lo normal, mientras que en Indonesia las bajas presiones son menores que lo acostumbrado. Este incremento en el gradiente de presión entre las dos regiones ocasionan fuertes vientos alisios y un intercambio mayor de masas de aire en la celda Walker Indo-Pacífico. Mientras que en las fases débiles el balance de la presión es invertida y por lo tanto resultan vientos alisios más débiles de lo normal.

El estado del sistema de presión de la OS está representado por el Índice de Oscilación Sur (IOS), que es definido como la anomalía de la diferencia de presiones entre Papeete (Tahití) y Darwin (Australia). La relación existente entre la OS y El Niño no fue descubierta sino hasta 1957 por el científico Berlage quien encontró una fuerte correlación

entre series de tiempo del IOS y la temperatura superficial del mar en el Perú, además de la coincidencia de la fase débil de la OS con episodios cálidos, denominados El Niño.

2.2.2 RELACIÓN DE LA OSCILACIÓN SUR Y EL EVENTO DE EL NIÑO

Bajo condiciones normales de comportamiento de los vientos *Alisios del Oeste*, el sistema de corrientes superficiales que se dirigen también hacia el oeste (Corriente Ecuatorial Sur) tienden a acumular agua en la capa superficial del Pacífico Occidental, profundizando la termoclina en ese lado (150-200 m); y bajando el nivel del mar, dejando una termoclina de escasa profundidad en el lado oriental (30-50 m). Un cambio repentino de la intensidad y dirección de los vientos relacionado con la OS varía totalmente esta situación, entonces el debilitamiento de los vientos alisios del cual se habla provoca que las aguas cálidas que fueron acumuladas en el lado occidental del Océano Pacífico retornen hacia el Pacífico central (Enfield, sf).

De acuerdo con Bjerknes (1966) la aparición de agua caliente no es un efecto local aislado sino que se encuentra acoplado a cambios en el sistema océano-atmósfera, sobre todo en el Pacífico Ecuatorial. Bjerknes señaló que El Niño estaba muy relacionado con la respuesta del Pacífico Ecuatorial ante el debilitamiento de los vientos alisios y propuso que un inusual calentamiento de las aguas ecuatoriales del océano sobre una gran extensión zonal debía crear gradientes anómalos de la temperatura superficial del mar tanto zonales como meridionales a gran escala, y que estos gradientes provocarían un aumento de la energía térmica entregada a la circulación atmosférica directa, especialmente la circulación meridional de las celdas Hadley en esos lugares. Esto se convirtió en la base para lo que se denominó las “teleconexiones”, con lo cual el calentamiento de un evento de El Niño podría proyectar anomalías a cualquier región por más remota que esta fuese (Enfield, 1989).

La estrecha relación que existe entre la OS, representado por el IOS y la ocurrencia de eventos El Niño como hemos indicado es lo que ha hecho que se defina a esta serie de anomalías océano-atmosféricas como El Niño-Oscilación Sur (ENOS), ya que un cambio significativo en la OS es indicio bastante seguro de un evento El Niño.

2.2.3 EVOLUCION DE NUEVOS CONCEPTOS

Muchos conceptos se han dado acerca de cuales son las causas de un evento de ENOS, las primeras teorías válidas se remontan a la década de los 60 y 70, en las que según Bjerknes (1966-1969) El Niño va y viene a través de una serie de transiciones entre estados de equilibrio cuasi-estables y que los vientos alisios se debilitaban uniformemente tanto a lo largo del ecuador como a lo largo de la costa peruana (Bjerknes 1966-1971).

En 1975 estas teorías fueron seriamente cuestionadas por Klaus Wyrtki, quien realizó observaciones del nivel del mar en el Pacífico y de vientos. El encontró que primero el nivel del mar bajaba en el Pacífico Occidental luego de haber sido inusualmente superior previo al evento. A pesar que los vientos alisios en el Pacífico Central y Occidental se debilitan o invierten su dirección como lo había señalado anteriormente Bjerknes, existía también un pequeño cambio en los vientos del Pacífico Oriental Ecuatorial o en los vientos del sur que favorecen los afloramientos a lo largo de las costas peruanas. Por lo tanto El Niño costero no era sino una respuesta tardía a la fuerza de los vientos en el Pacífico Ecuatorial en lugar de un calentamiento local debido a la

desaparición de afloramientos, como consecuencia del debilitamiento de los vientos a lo largo de las costas. Wyrcki también propuso que cuando los vientos alisios se debilitaban a lo largo del ecuador, el gradiente de presión en el este se volvía inestable en la capa superficial del océano lo que provocaba que gran parte del agua acumulada en el lado occidental del Pacífico se transportara hacia Sudamérica en forma de ondas planetarias (Kelvin o Rossby) de pequeñas amplitudes y grandes longitudes. Esto provocaba que la termoclina se profundizara, que el nivel del mar a lo largo de las costas de Ecuador y Perú se elevara y que el Frente Ecuatorial normalmente localizado frente a las costas ecuatoriales se desplazara más al sur, mientras que en el lado occidental ocurría todo lo contrario. Por lo tanto esta teoría radica en que el proceso de acumulación de aguas cálidas en el Pacífico Occidental Tropical se debe a un período de fuertes vientos alisios del Sudeste y Noreste de por lo menos 18 meses (Santos, 1987).

Para resumir la teoría de Wyrcki, podríamos decir que el propuso la existencia de cuatro condiciones pre-niño que permitían establecer el potencial para la ocurrencia de el anomalía, entre estos tenemos:

- vientos fuertes
- depresión de la termoclina
- elevación del nivel del mar
- enfriamiento ecuatorial



BIBLIOTECA
FAC. CTS.
MAR DEL PLATA

Estas cuatro condiciones pueden ser usadas para establecer el potencial y probabilidad de ocurrencia de un evento ENOS. Si una de estas condiciones es satisfecha, podríamos encontrarnos ante grandes posibilidades de un evento de este tipo para el siguiente verano del Hemisferio Sur (Santos, 1987).

Posteriormente, Enfield argumentó que el hundimiento de la termoclina a lo largo de la costa se relacionaba directamente con las anomalías en la temperatura superficial del mar observadas en Perú, ya que el agua que afloraba bajo la influencia cabal de los vientos era mas cálida que lo normal. Así mismo Moore y Philander (1977), Cane y Sarachik (1977) y Hurburt (1976) mostraron numéricamente que la perturbación ecuatorial continuaba hasta los polos en ambos hemisferios (a lo largo de la costa de América) en forma de ondas Kelvin atrapadas lo que provocaba el revertimiento de las direcciones normales de las corrientes ecuatoriales.

De esta manera hemos podido comprobar que no importa cuales hayan sido las teorías e investigaciones realizadas anteriormente, es a partir de la década de los 70 que basándose en los procesos físicos observados de un sistema El Niño-Oscilación Sur (ENOS), los científicos tuvieron una nueva visión y marcaron la pauta para una serie de investigaciones, conceptos y suposiciones que lograron explicar de una forma más clara y veraz los procesos de fluctuaciones climáticas asociadas a un evento de ENOS y la existencia de las denominadas teleconexiones alrededor de todo el mundo.

2.3 ANTECEDENTES HISTORICOS DE EVENTOS DE EL NIÑO

No existen registros muy antiguos de este evento que nos permitan establecer claramente y con seguridad en que época de la historia del mundo se empezaron a registrar este tipo de eventos, la recopilación más significativa de eventos ENOS basada en fuentes documentadas la realizó Quinn (1978) y posteriormente Hamilton y García (1986), quienes se remontaron a la época de la conquista española, donde se empieza a obtener documentos escritos. Ellos fueron quienes clasificaron a los eventos ENOS según su intensidad y

duración de las anomalías climáticas además de su impactos sociales y económicos.

Lamentablemente los casos mejor documentados sobre este tipo de eventos son los del presente Siglo XX, ya que los registros climáticos fueron mantenidos de una forma más sistematizada y correctamente archivados. De eventos anteriores a este siglo no se posee información ni datos totalmente confiables, pero sin embargo son de suma importancia para la debida documentación de este evento. Anteriormente se obtenía la respectiva información mediante relatos e historias de personas, especialmente pescadores de las costas de Ecuador y Perú.

Debido a la falta de información y datos, los eventos ENOS con intensidades débil (D) y moderada (M) no pudieron ser registrados antes del siglo 19, esto se debe a que los efectos y consecuencias de éstos no representan daños significativos tanto para el hombre como para el medio donde ocurren. Son precisamente los eventos calificados como fuertes y muy fuertes los que son fácilmente identificados y registrados ya sea por sus notables características como por los daños producidos en varias regiones del planeta. A continuación en la tabla siguiente se detallan algunos eventos ENOS y sus respectivas intensidades (Quinn et al, 1987).

TABLA I. INTENSIDADES DE UN EVENTO EL NIÑO

DEBIL Y MODERADO	FUERTE	MUY FUERTE
1951	1911-1912	1578
1953	1917	1728
1965	1932	1791
1976	1957-1958	1828
1987	1972-1973	1877-1878
	1991	1891
	1992-1993	1925-1926
		1982-1983(EF)

BIBLIOTECA
 FAC. ING.
 BAHIA

Antes de continuar con el desarrollo de esta tesis es muy importante establecer la existencia de otro tipo de evento, el cual presenta características totalmente opuestas a las señaladas anteriormente para El Niño, a ésta nueva anomalía océano-atmosférica se la denomina El Viejo o La Niña, y tiene la siguiente definición:

La Niña: Es el proceso contrario de El Niño, es decir el extremo frío de un ciclo ENOS. Entre sus principales características tenemos: disminución de los valores de TSM en el Pacífico Oriental e incremento de los vientos alisios.

Existen tres categorías en las que se puede dividir un año ENOS dependiendo de la anomalía o evento que se lleve a cabo en el mismo, estas son: El Niño, La Niña y años normales. En la tabla II (Darren, 1995) se resume la ocurrencia de estas tres categorías para los últimos 50 años, la misma nos será de mucha utilidad para los análisis posteriores en donde incluiremos datos de precipitación de 10 estaciones meteorológicas ubicadas a lo largo de todo el Ecuador (Figura 7) para este mismo período, con los cuales estableceremos una relación entre los promedios de precipitación y cada evento en particular.

TABLA II. CATEGORIAS DE LOS AÑOS ENOS

El Niño	La Niña	Normal
1951	1950	1952
1953	1954	1958
1957	1955	1959
1963	1956	1960
1965	1962	1961
1968	1964	1966
1972	1967	1969
1976	1970	1975
1982	1971	1980
1986	1973	1981
1991	1974	1983
1992	1977	1985
	1978	1987
	1979	1989
	1984	1990
	1988	1993
	1995	1994

2.4 EL EVENTO EL NIÑO-OSCILACION DEL SUR 1982 -1983

2.4.1 EFECTOS Y CONSECUENCIAS DE UN EVENTO DE EL NIÑO

Los efectos e impactos de los eventos de ENOS dependen mucho de la intensidad de los mismos, siendo los más perjudiciales y los que mayores daños provocan a nivel mundial los catalogados como fuertes y muy fuertes. En la tabla siguiente resumimos algunos de los efectos de un evento ENOS:

TABLA III. PRINCIPALES EFECTOS DE UN EVENTO EL NIÑO

Daños Materiales	Biológicos	Socio-económicos	Naturales
- destrucción de muelles, instalaciones portuarias, edificaciones, carreteras, embarcaciones	- Aguajes rojos debido a la invasión de dinoflagelados - Disminución de peces: anchoveta y sardina - Migración de peces - Muerte de aves - Muerte de arrecifes coralinos	- Destrucción de cultivos y plantaciones - Bajas en la exportación - Aumento de importaciones - Pérdida de hogares y empleo (de actividades pesqueras) - Cierre de centros educativos por destrucción de estos - Pérdida de vidas humanas	- Lluvias excesivas - Inundaciones - Sequías - Desbordes ríos - Fuertes oleajes y marejadas

Resulta imprescindible una vez conocidos los impactos de eventos ENOS en todo el mundo tanto en el campo socio-económico como en lo que se refiere a pérdidas de vidas humanas, el tratar de encontrar un patrón que sirva para prevenir o anticipar este tipo de eventos, incrementar el apoyo entre todas las naciones directa e indirectamente afectadas y aumentar las medidas de seguridad y prevención en los sectores más propensos a daños a este tipo de anomalías (Santos, 1987).

2.4.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE EL NIÑO 82 - 83

Sin duda alguna el evento ENOS más intenso del presente siglo XX fue el de los años 1982-1983, el cual causó innumerables pérdidas tanto materiales como de vidas humanas a nivel mundial. A este evento se lo calificó como extraordinariamente fuerte. Sus proporciones y daños en todo el mundo fueron incalculables y algunos de los países y lugares afectados aún no pueden reponerse por completo de los catastróficos efectos producidos por este evento.

Este evento en particular se caracterizó por la presencia de tormentas y lluvias torrenciales registradas en diversas partes del mundo



BIBLIOTECA
DEL INIA
LIMA PERU

especialmente en Ecuador y Perú que causaron grandes inundaciones, mientras que en otras partes del mundo por el contrario se produjeron sequías muy fuertes como en Australia e Indonesia. Todo esto significó pérdidas millonarias en diversos países modificando por completo el sistema de vida de los mismos. Muchos gobiernos declararon sus naciones en estado de emergencia indefinida (durante y después del anomalía) debido a las condiciones en las que estas se encontraban.

Una de las principales características de este evento en particular además de su crudeza, fueron las condiciones con las que este se desarrolló, ya que no respondió a ninguno de los patrones hasta ese entonces determinados para un evento ENOS.

2.4.3 FORMACION, DESARROLLO Y MANIFESTACIONES

El Niño 1982 - 1983 respondió a un patrón de formación totalmente diferente a tal punto que este ocurrió de forma sorpresiva y como una consecuencia de las fluctuaciones climáticas relacionadas con la Oscilación Sur (OS) (Moreano et al., 1983).

Muchas fueron las señales que mostró este evento antes que fuera catalogado definitivamente como evento ENOS, entre los primeros anuncios que mostraron que algo no estaba bien. tenemos:

- La temprana aparición de lluvias en la costa ecuatoriana para la segunda quincena de Octubre de 1982
- Incremento del nivel de mar y profundización de la termoclina
- Débiles anomalías de la temperatura superficial del mar cerca del Perú
- Marcada tendencia del FE hacia el sur
- Leve oscilación climática observada en la región Indo-Pacífica y no se observó ninguna tendencia clara del fortalecimiento de los vientos alisios.

Todo esto ocurrió para una época en la cual en condiciones normales todavía no se espera ninguna de estas manifestaciones, sin embargo a éstas no se les dio una importancia relevante por lo que en otoño (en el hemisferio septentrional) de 1982 prácticamente se daba por descontada la posibilidad de la ocurrencia de un evento ENOS. Un poco más tarde, para el término del año 1982 la comunidad científica mundial estaba totalmente asombrada ya que las condiciones globales cambiaron

radicalmente, por ejemplo en Puerto Chicama la TSM para septiembre del mismo año estaba bajo el promedio normal y luego se registraron aumentos entre 2°C, 5°C y 7°C sobre el promedio normal en los tres últimos meses del año 1982 (Moreano et al., 1983).



SISTEMA NACIONAL
DE INVESTIGACIONES
CIENTÍFICAS

2.4.4 EFECTOS DE EL NIÑO 82 -83

Este evento en particular tuvo muchos efectos a nivel mundial, lamentablemente la mayoría de estos fueron perjudiciales y significó un gran esfuerzo por parte de todos el sobreponerse y tratar de remediar todo lo que éste causó. Entre los principales efectos tenemos:

- Fuertes y prolongadas precipitaciones que ocurrieron en las costas occidentales de Sudamérica
- Sequías en Indonesia y Australia, sur de Perú y zona interandina de Bolivia
- Pérdida de decenas de vidas y miles de hectáreas de sembríos como maíz, arroz, caña de azúcar, etc.
- Destrucción de carreteras, caminos, puentes, obras portuarias y miles de hogares

- La industria pesquera y los pescadores artesanales fueron duramente afectados debido a los cambios en la distribución de los recursos marinos
- Reducción de elementos nutritivos (nitrato, nitrito y fosfato), con decrementos entre el 60% y 90% de los valores típicos para aguas ecuatorianas
- Reducción en las concentraciones de clorofila lo cual ocasionó cambios importantes en la composición del fitoplancton
- Predominio de los dinoflagelados favorecidos por el aumento de la temperatura en las aguas ecuatoriales
- Destrucción de instalaciones marítimas, puertos y edificaciones cercanas al mar debido a la presencia de grandes olas
- Fuertes marejadas que dificultaban enormemente la actividad pesquera y portuaria
- Peligros para la navegación

A fines de 1982 el litoral ecuatoriano tenía características de catástrofe por lo que el Gobierno del Dr. Oswaldo Hurtado declaró estas zonas en estado de emergencia (Moreano et al., 1983).

Pocos fueron los efectos beneficiosos relacionados a este evento y pocos fueron a su vez los países que se vieron favorecidos por la serie de cambios que éste originó, entre los principales efectos positivos podemos citar los siguientes:

- Cambios en la abundancia de camarones en la costa del Pacífico (Colombia y Ecuador), la actividad camaronera tuvo incrementos favorables en su producción
- Aparición de extensas praderas naturales y resurgimiento de bosques de algarrobo en la costa norte del Perú
- Aumento en las capturas pesqueras de la costa chilena, especialmente de sardinas y macarelas que inmigraron hacia aguas menos cálidas

Resulta difícil el tratar de expresar todos estos daños en cifras reales que reflejen todas las pérdidas que este evento El Niño ocasionó, esto se debe a que muchos de los daños no pueden ser directamente medidos y relacionados en términos económicos como es el caso de la industria pesquera que fue afectada tanto durante el desarrollo del evento como posterior a éste, ya que sus estragos se mantuvieron algunos meses e incluso tomaron algunos años para que ciertas especies volvieran a su producción normal, algunas de ellas nunca lo hicieron; en lo que se

refiere a la destrucción de arrecifes coralinos muchos de éstos nunca pudieron recuperarse y se perdieron grandes áreas caracterizadas anteriormente por su presencia, al igual que organismos propios de este hábitat. A todo esto se le debe añadir la pérdida irreparable de vidas humanas.

Es por esto que cualquier cifra que pudiera obtenerse no debe ser considerada como real, es simplemente un punto de vista que busca relacionar los daños y pérdidas materiales y expresarlos en términos económicos mas o menos significativos, así podemos citar las siguientes cifras:

- En Bolivia las zonas afectadas fueron del 35% del territorio nacional.
- Perú tuvo pérdidas solo en el sector pesquero de 900 millones de dólares (para el año 1987) sin contar aquellos daños ocasionados por las inundaciones y sequías
- Los daños materiales en el caso de Perú, Bolivia y Ecuador suman un equivalente de 1884 millones de dólares (año 1987)
- Las pérdidas en producción se estiman en 1.009,6 millones para los tres países

- Los daños de infraestructuras agrícolas, vías de transporte, viviendas y servicios se estiman en 875.1 millones

Como conclusión con lo señalado en este capítulo refiriéndonos en especial al evento El Niño de 1982 - 1983 podemos señalar que éste sobrevino de forma sorpresiva, ya que no fue precedido por ninguna de las cuatro fases o condiciones propuestas por Klaus Wyrski en ese entonces, esta característica ocasionó que muchas de las teorías de esos tiempos fueran desechadas y los científicos de todo el mundo en especial oceanógrafos, meteorólogos y biólogos realizaron una serie de estudios e investigaciones para tratar de determinar las posibles causas que determinan este tipo de eventos y cuales son realmente las condiciones previas o “escenario El Niño” como lo denominó Bjerknes, con lo cual se podría en cierto modo pronosticar su ocurrencia.

Debido a la característica de este evento de ser recurrente se han tomado algunas medidas preventivas después del catastrófico Niño 82-83, pero aún así resulta muy difícil hacer frente de una forma cien por ciento efectiva a este tipo de eventos, ya que es prácticamente imposible el poder detener o controlar totalmente la ira y crudeza característica de la naturaleza en todos los eventos catalogados como naturales.

III. TRATAMIENTO DE LAS IMAGENES DE SATELITE

En este capítulo explicaremos que programas han sido necesarios para el tratamiento de las imágenes de satélite, que mecanismos se han utilizado para obtener las imágenes provenientes de la NASA y como han sido tratadas.

3.1 CARACTERISTICAS GENERALES DEL SET DE CDs UTILIZADOS

El set que contiene las imágenes de satélite consta de cinco volúmenes de CD-ROM (Compact Discs-Read Only Memory) y cada uno de ellos contienen información sobre Temperatura Superficial del Mar (TSM) y Concentración de Pigmentos de Fitoplancton provenientes del sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) instalado en la serie de satélites polares de la NOAA y del Nimbus-7 Coastal Zone Color Scanner (CZCS) respectivamente. Toda la información contenida cubre un período comprendido entre 1978-1986 para los del Nimbus-7 CZCS y entre 1981-1986 para los de la NOAA AVHRR.

Los CDs contienen imágenes globales del océano así como imágenes regionales para cada parámetro. Estas imágenes cubren las regiones de Agujas, Océanos Indico, Atlántico Norte, Atlántico Nororiental, Atlántico Sur, Pacífico

Nororiental, Pacífico Suroriental y Pacífico Suroccidental. Existen imágenes de TSM tanto como para el día como para la noche, las de pigmentos solo fueron captadas durante el día.

Las imágenes están codificadas en formato HDF (Hierarchical Data Format). Este es un formato multiplataforma desarrollado en el NCSA (National Center for Supercomputing Applications) y está ganando mucha aceptación a nivel de la comunidad científica americana. Las imágenes son mapas de bits de 512 filas por 512 columnas con una densidad de color de 8 bits (256 colores). Las imágenes contienen datos de TSM y de concentración de pigmentos de fitoplancton, tanto de noche como de día y viene en formatos de datos válidos y datos interpolados. Cada imagen representa un promedio mensual de datos. Para esta tesis se utilizó el formato de imágenes interpoladas tanto de horario diurno como nocturno contenidas en el Volumen 4. Hemos escogido este tipo de imágenes porque estas no tienen valores faltantes ya que han sido interpolados por técnicas laplacianas. La combinación de imágenes nocturnas y diurnas se debe a que hemos elegido las imágenes en donde haya la mayor cantidad de datos válidos de manera que se haga más confiable la interpolación de las mismas. Por esta razón se eligió para el año de 1982 imágenes provenientes de datos nocturnos y para 1983 imágenes generadas a partir de datos diurnos, ya que eran precisamente este tipo de imágenes las que contenían mayor cantidad de datos válidos susceptibles a ser interpolados.

3.2 GENERALIDADES DEL TRATAMIENTO DE IMAGENES

A continuación explicaremos algunas de las principales definiciones en el procesamiento de imágenes.

Imagen digital.- Es un arreglo bidimensional de m filas por n columnas de pixeles.

Pixel.- Es la división más pequeña que se puede hacer a una imagen digital, y representa la máxima resolución de la misma. En la práctica los pixeles son los puntos de los cuales está compuesta la imagen

Histograma.- El histograma de una imagen representa una función de la distribución de colores en la misma (los colores pueden tener una serie de significados, como en nuestro caso de TSM). Esto significa que el histograma nos grafica el número de veces que se repite cada color presente en la imagen. De esta manera podemos obtener valores máximos y mínimos. así como establecer patrones de correlación entre los distintos colores.

Densidad de color.- Es la máxima cantidad de colores que una imagen puede contener simultáneamente. Las imágenes utilizadas en esta tesis tienen una

densidad de 256 colores. Los sistemas mas modernos de tratamiento de imágenes trabajan generalmente con 16.7 millones de colores, lo cual se conoce como imágenes RGB (red, green, blue). Una consideración importante al escoger la densidad de colores de una imagen es que a medida que esta aumenta también aumenta la cantidad de espacio utilizada por la misma, así una imagen RGB requiere tres veces mas cantidad de almacenamiento que una imagen de 256 de las mismas dimensiones.

Paleta.- La paleta es la gama de colores utilizados en una imagen. Las imágenes de 256 colores no son muy adecuadas para presentación de fotografías e imágenes de colores complejos. La paleta es una selección de colores RGB a ser usados en la presentación de la imagen. De esta manera se puede cambiar el aspecto de la imagen simplemente cambiando su paleta.

Debido a la gran cantidad de datos que tiene una imagen, es indispensable la utilización de computadora, de software de procesamiento y una metodología de análisis para extraer la mayor cantidad de información de las imágenes. Existen en el mercado internacional equipos de propósito específico para el procesamiento digital de imágenes, pero estos son costosos por el hardware y software especial que utilizan para la exhibición y análisis de las imágenes. Sin embargo con los avances de la tecnología actual ya es posible realizar análisis y

tratamiento de imágenes en computadores personales, aunque de una manera limitada. Las imágenes utilizadas en esta tesis han sido parcialmente tratadas en computadores personales.

En general un sistema de procesamiento digital de imágenes debe estar en capacidad de realizar lo siguiente:

- Leer los datos de las imágenes
- Desplegar las imágenes
- Transformar imágenes (realces, filtros)
- Permitir el análisis visual digital
- Presentar los resultados
- Evaluar los resultados



Creemos necesario realizar una pequeña ampliación en lo que se refiere al tercer punto (transformar imágenes), ya que las imágenes obtenidas de la NASA han sido ya tratadas por diferentes mecanismos que explicamos a continuación.

Las transformaciones de imágenes multiespectrales tienen como principal objetivo mejorar la presentación general de los datos de la imagen por medios visuales. Básicamente en estas transformaciones podemos encontrar: realces generales por medio de histogramas, filtros, transformaciones especiales, etc.

Para el realce de las imágenes se utilizan y se diseñan algoritmos que son aplicados en los sensores remotos para mejorar la apariencia de una imagen y facilitar de esta forma el análisis de la misma. Dependiendo del tipo de transformación que sufren los datos en los realces, a estos se los ha dividido en: realces no selectivos, realces selectivos y realces de fidelidad.

Los realces no selectivos son unos de los mas sencillos y se basan en la modificación del histograma. El objetivo de estos es el de obtener el realce de contraste de la imagen que se obtiene mediante la relación de brillantez de un objeto con su entorno, es decir se relaciona el valor de un pixel o clase de pixeles con los vecinos más próximos.

En los realces selectivos se utilizan los filtros; los de paso bajo o de reconstrucción que sirven para uniformizar una imagen (restauran una imagen degradada) y los de paso alto para realzar los bordes y ciertas características de la imagen.



BIBLIOTECA
UNIVERSITARIA
DE LA
UNIVERSIDAD
DE LA PAZ

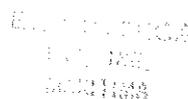
3.3 DESCRIPCION DE LOS PROGRAMAS UTILIZADOS

A continuación se describirá los programas que hemos utilizado en el tratamiento de las imágenes y cual ha sido el mecanismo empleado para tratarlas. Entre estos programas tenemos al IMDISP, Surfer y Paint Shop Pro (PSP).

IMDISP.- (Imagen Display; Jet Propulsion Laboratory JPL, NASA, Version 7.9G,1991)

Este es un programa originalmente diseñado para presentar las imágenes obtenidas en las distintas misiones espaciales organizadas por el Jet Propulsion Laboratory (JPL). La función de este programa como su nombre lo indica es el de mostrar y analizar imágenes, este programa carece casi totalmente de funciones de edición de imágenes. La razón principal por la que se utilizó este programa es debido a que es uno de los pocos programas en existencia que puede manejar el formato HDF que es el utilizado en las imágenes de los CDs de la NASA. El IMDISP fue usado principalmente para seleccionar el área de interés de las imágenes y convertirlas al formato GIF que ha sido el que hemos utilizado para el resto de las imágenes. Además, usamos el IMDISP para definir la paleta estándar de colores que fue utilizada durante todo el tratamiento de las imágenes. Este programa está incluido en el paquete de Cds de la NASA,

provenientes específicamente del JPL.



SURFER.- (Surfer; Golden Software Inc, Version 5.00, Copyright 1993-1994)

Este es un programa cuya función principal es la de convertir grupos de datos en matrices ordenadas susceptibles de graficación mediante algoritmos de interpolación. Las matrices obtenidas pueden ser graficadas como curvas de nivel (isolíneas), o como mallas tridimensionales. De particular interés para esta tesis es su capacidad de graficar isolíneas. Este programa fue utilizado para la elaboración de los gráficos de TSM provenientes de los datos de los cruceros oceanográficos.

PSP.- (Paint Shop Pro; JASC Inc, Version 3.0, Copyright 1990-1995)

Este es un programa diseñado específicamente para la creación y edición de imágenes de mapas de bits. Este fue el programa que más utilizamos en el tratamiento de nuestras imágenes, debido a que el formato final de todos los gráficos que presentamos es el GIF. El cual consiste en un mapa de bits de 256 colores comprimido para ahorrar espacio en el disco. El PSP fue utilizado para trasladar todas las imágenes tanto del IMDISP como del Surfer al formato GIF (mediante el portapapeles de windows) además se utilizó para añadir información de latitud y longitud, valores de temperatura y retoques estéticos en general.

IV. PRESENTACION Y DESCRIPCION DE LA INFORMACION

4.1 DESCRIPCION DE LA INFORMACION

4.1.1 IMAGENES DE SATELITE Y GRÁFICOS DE TSM

Para fines de esta tesis hemos seleccionado siete imágenes de satélite contenidas en los CDs de la NASA (NOAA AVHRR SST and Nimbus-7 CZCS Pigment Concentration), correspondientes al período 1981-1986 de la región del Pacífico Sur-oriental. Cada una de estas imágenes contienen los valores de TSM promediados mensualmente.

Para nuestro análisis hemos seleccionado cuatro imágenes de 1982 (marzo, abril, agosto y noviembre), las cuales han sido generadas a partir de datos nocturnos; y tres de 1983 (enero, febrero y noviembre), las cuales han sido generadas a partir de datos diurnos; por tratarse de los meses correspondientes a los cruceros oceanográficos del B/I ORION de los cuales hemos obtenido la información y datos in-situ para realizar el análisis comparativo de las dos fuentes de información, imágenes de satélite y cruceros oceanográficos. Cabe resaltar que esta selección de

información se ha basado en el evento ENOS 82-83, el cual estamos analizando.

En las imágenes de satélite que presentamos mas adelante, previamente tratadas por los programas que se describen en el capítulo III, observamos en orden secuencial el desarrollo del evento ENOS 82-83. Podemos apreciar claramente los diversos cambios de temperatura que se presentaron en la TSM para estos meses. Todas las imágenes de satélite tienen un tamaño estándar comprendido entre los 4°N-10°S y 79°W - 94°W y una escala de temperatura comprendida entre los 15 y 31 °C, la misma que contiene los valores mínimos y máximos de TSM hallados en los datos in-situ de los cruceros.

Así mismo, los gráficos de TSM correspondientes a las imágenes fueron elaborados usando el programa Surfer a partir de los datos obtenidos de los cinco cruceros oceanográficos realizados entre los años 82-83. Como podemos apreciar el área que contiene la información en estos gráficos varía entre los mismos, esto se debe a que cada crucero realiza una trayectoria diferente, variando el alcance del mismo (distancia este-oeste), según la duración y objetivo de cada crucero en particular. Es por esto que precisamente los cruceros CO-I-83 y CO-II-83 son los de

mayor duración y los de mayor alcance 90°W y 92°W respectivamente, ya que estos recopilaban información in-situ durante los meses de mayor intensidad del evento y una vez superado el mismo.

A continuación presentamos las principales características de los cruceros oceanográficos (82-83) que fueron seleccionados.

TABLAS IV Y V. CARACTERISTICAS DE LOS CRUCEROS

CRUCERO	FECHA	DURACION (días)	ALCANCE	
			Norte-Sur	Este-Oeste
CO-I-82	mar 23 - abr 04	13	1° 3.8' N - 3° 19.7' S	88° 31.0' W)
CO-II-82	ago 13 - ago 22	10	1° 0.0' N - 3° 18.0' S	86° 30.0' (W)
CO-III-82	nov 18 - nov 26	09	1° 3.0' N - 4° 00.0' S	85° 10.0' W)
CO-I-83	ene 14 - feb 20	38	1° 3.1' N - 3° 42.7' S	89° 59.7' (W)
CO-II-83	nov 03 - nov 16	14	1° 0.3' N - 3° 59.6' S	92° 33.1' (W)

CRUCERO	MESES	IMAGEN satelitaria	TSM1 max.	TSM1 min.	TSM2 max.	TSM2 °C) min.
CO-I-82	marzo-abril	1 - 2	27.7	23.5	27.3	23.0
CO-II-82	agosto	3	26.2	19.5	---	---
CO-III.82	noviembre	4	27.7	25.1	---	---
CO-I-83	enero-febrero	5 - 6	28.9	27.3	30.3	28.0
CO-II-83	noviembre	7	26.7	16.2	---	---

4.1.2 GRAFICOS DE VALORES PLUVIOMETRICOS

Para complementar el estudio de esta tesis hemos seleccionado los valores pluviométricos de los últimos 45 años (1950-1995), correspondientes a 10 estaciones meteorológicas (Esmeraldas, Manta, Portoviejo, Guayaquil, Salinas, San Cristóbal, Baños, Sto. Domingo de los Colorados, Tulcán y El Puyo) ubicadas en las cuatro regiones del Ecuador (Costa, Sierra, Oriente e Insular). Estos datos han sido clasificados de acuerdo a las tres categorías de un año ENOS (El Niño, La Niña y Normal) y se obtuvieron los promedios mensuales de precipitación (mm) para cada una de ellas. La información de los

valores pluviométricos se la obtuvo a través de Internet (GHCN:CDP@STC10.CTD.ORNL.GOV) y de los boletines meteorológicos distribuidos mensualmente por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

El promedio mensual de cada evento se obtuvo mediante la suma de todos los valores de cada mes de acuerdo a su categoría respectiva (Tabla II) y posteriormente realizando la división para el número de datos válidos contenidos en cada una de ellas. Cabe destacar que para nuestro análisis decidimos considerar la duración de cada evento como de 12 meses, por lo que podría existir un margen de error en los resultados obtenidos ya que este tipo de eventos tiene un período de duración muy variable. Con los resultados obtenidos de estos promedios se han elaborado dos tipos de gráficos; el primero de ellos y que presentamos en este capítulo abarca tres parámetros: temperatura, precipitación y meses del año (diagramas ombrotérmicos); y el segundo únicamente dos: precipitación y meses del año, este último lo presentaremos y analizaremos en el siguiente capítulo.

Para la elaboración de los diagramas ombrotérmicos debido a que no se contaba con un registro continuo de datos para un período representativo

de años fue necesario utilizar cálculos estadísticos y dos fuentes de información (GHCN y Mapa Bioclimático y Ecológico del Ecuador) de diversas características para obtener un promedio mensual de temperatura significativo. Por esta razón se utilizó el principio de la media aritmética ponderada, que es aquella en la cual se asocia a los valores ($X_{1..}$) ciertos factores o pesos ($w_1...$) que dependen de la importancia de cada uno de los valores o números, a continuación la ecuación que define a esta media:

$$\bar{X} = \frac{w_1X_1 + w_2X_2 + \dots + w_kX_k}{w_1 + w_2 + \dots + w_k}$$



BIBLIOTECA
NACIONAL
QUITO

En nuestro caso utilizamos la siguiente variación de la media ponderada, donde combinamos las dos fuentes de información:

$$(NA_1 * TP_1) + \sum Tj_2 = R$$

$$\bar{X} = R/N$$

En donde:

1 = Fuente de valores promedios mensuales de temperatura para toda una serie de años (Mapa Bioclimático y Ecológico del Ecuador)

2 = Fuente de valores promedios mensuales de temperatura para cada año (GHCN)

NA_1 = Número de años de la serie (peso)

TP_1 = Valor promedio mensual de temperatura para toda la serie

Tj_2 = Valores mensuales de temperatura para cada año

R = Valor acumulado de temperatura de las dos fuentes

N = Número total de años de información válida

\bar{X} = Valor promedio mensual de temperatura

Por medio de esta fórmula fue posible hallar \bar{X} ; aunque hubiera un lapso de años del cual no tuviéramos registro alguno de datos. Por la naturaleza de este cálculo podrían existir errores en los valores hallados, sin embargo esta aproximación nos permite calcular medias climáticas tomando un período de tiempo grande, recordando que para obtener promedios climáticos deberíamos realizar promedios sobre un período de veinticinco años por lo menos.

Los diagramas ombrotérmicos consisten en una representación gráfica de los valores mensuales de precipitación y temperatura registrados en una estación meteorológica con el objeto de determinar en ésta los

períodos secos. En la ordenada derecha de los diagramas aparece la escala de precipitación en milímetros y en la de la izquierda la de temperatura en grados celcius, esta última a escala doble de la de precipitación ($10^{\circ}\text{C} = 20\text{mm}$). La curva de precipitación está representada con una línea color rosado y la de temperatura con una línea color azul. Cuando la curva de la precipitación (Ombric) pasa por debajo de la curva de la temperatura (Thermic), es decir cuando se cumple $P \leq 2T$, se considera un mes seco desde el punto de vista ecológico. El área sombrada entre las dos curvas en los diagramas nos indica la estación seca: en duración (diferencia de abscisa) y en intensidad (área sombreada). Por lo tanto la época seca de cada estación meteorológica se la puede apreciar claramente a través de su respectivo Diagrama Ombrotérmico. Para entender un poco más acerca de la utilidad de los diagramas ombrotérmicos creemos necesario realizar una pequeña descripción de las principales características climáticas del Ecuador.

Estableciendo la relación entre precipitación y temperatura es posible dibujar este tipo de diagramas en los cuales resulta muy fácil apreciar los dos períodos o estaciones climáticas del Ecuador: seca y lluviosa. Cada una de ellas responde a particularidades de cada región natural, es decir



BIBLIOTECA
FAC. ING.
UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

que cada región cuenta con sus propias características para estas dos estaciones, por ejemplo en la Costa el período fresco y seco se lo denomina verano, y al período cálido-lluvioso invierno; en la Sierra, por el contrario, el verano corresponde al período caliente-seco, e invierno al período frío-lluvioso, mientras que en el Oriente casi todo el año se presenta la estación lluviosa, caracterizando a la estación seca una ligera disminución de las lluvias (Cañadas, 1983).

Las dos estaciones están condicionadas a diversos factores que determinan la intensidad e inicio de las mismas; la Costa está influenciada por la posición de la ZCIT, Corrientes del Niño y Humbolt y la Sierra por el paso del sol por esas latitudes y corrientes de aire. Dependiendo de la duración, intensidad e inicio de cada una de las estaciones se puede realizar una subdivisión climática de las regiones del Ecuador de acuerdo a las características propias de cada una de las provincias, lo cual nos permite establecer el tipo de vegetación de éstas, así tenemos: Desértico Tropical (Salinas, S. Cristóbal), Sub-desértico Tropical (Portoviejo), Muy seco tropical (Guayaquil), Muy húmedo Tropical (Sto. Domingo de los Colorados), Lluvioso Sub-tropical (El Puyo), Páramo (Cotopaxi), etc.

Cabe señalar que el Ecuador a pesar de su poca extensión territorial posee una gran variedad climática debido a los contrastes geográficos que lo caracterizan, lo cual nos brinda una diversidad de paisajes naturales a lo largo de todo el país.

4.2 PRESENTACION DE LOS DIAGRAMAS OMBROTERMICOS

UNIVERSIDAD
EQUATORIANA
MAQUILIMA

Los gráficos respectivos han sido distribuidos en un mapa del Ecuador (Figura No. 2) en donde podemos apreciar la localización de las estaciones. Cada gráfico consiste en el diagrama ombrotérmico de las estaciones seleccionadas. El análisis respectivo de cada uno de ellos lo realizaremos en el siguiente capítulo.

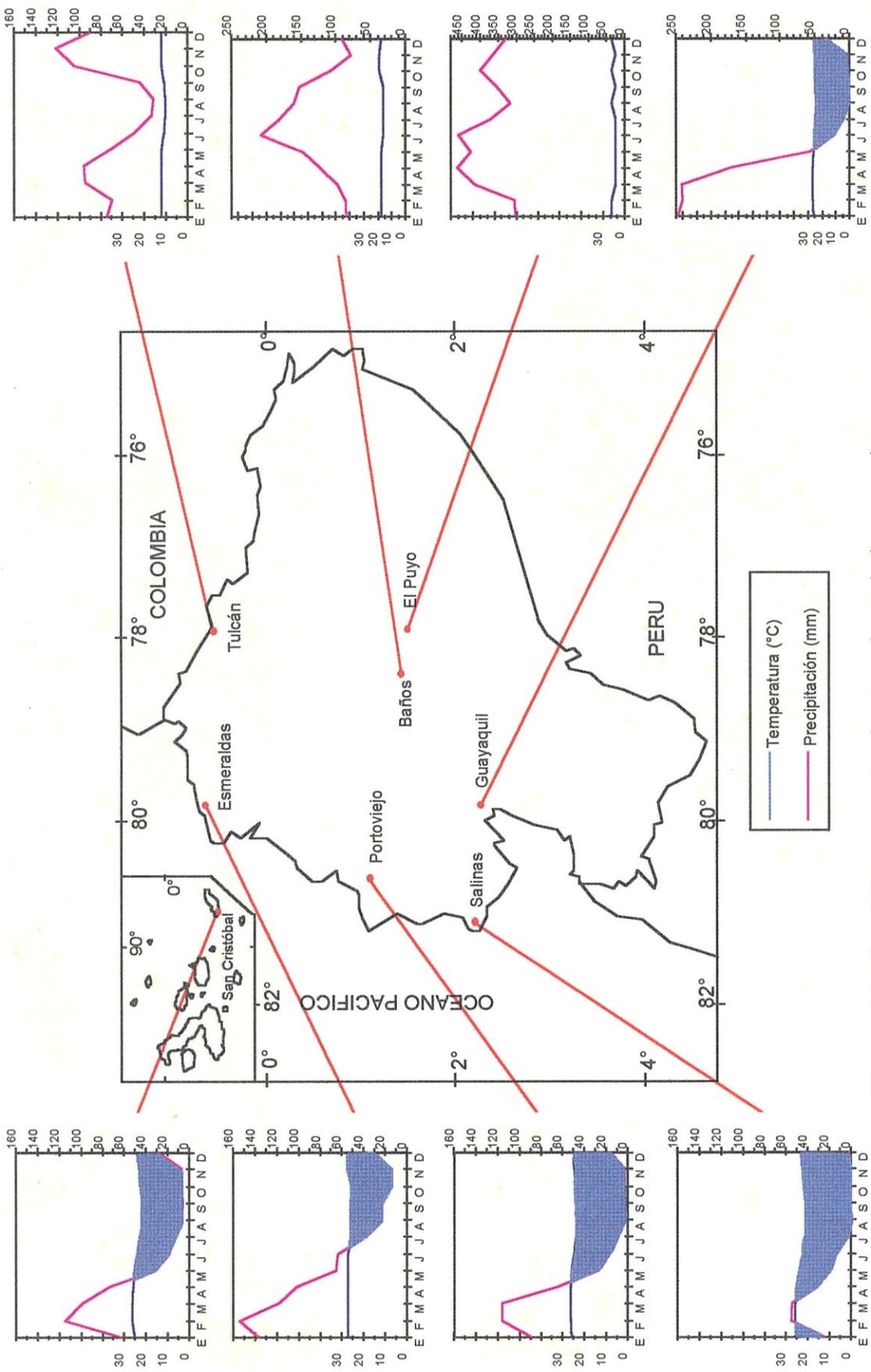


Figura No. 2.- Diagramas Ombrotérmicos de las estaciones seleccionadas

V. ANALISIS Y RESULTADOS



5.1 ANALISIS Y RESULTADOS DE LAS IMAGENES DE SATELITE Y GRAFICOS DE TSM

5.1.1 ANALISIS Y COMPARACION DE LAS IMAGENES DE SATELITE Y GRAFICOS DE TSM

Tanto las imágenes de satélite como los gráficos de TSM provienen de dos fuentes de información muy distintas, las imágenes se las obtiene mediante las mediciones realizadas por satélites a través de sensores remotos y los gráficos provienen de mediciones in-situ realizadas a bordo del B/I ORION.

Cabe señalar que en las imágenes de satélite únicamente se realizará el análisis del área dentro del recuadro, ya que esta es la que corresponde a los gráficos de TSM obtenidos de los cruceros. Debido a que las imágenes provienen de un promedio mensual de la TSM captada por el satélite y que los gráficos de TSM corresponden a los datos obtenidos durante todo el crucero, dos de los cuales se realizaron en el transcurso

de dos meses (CO-I-82 y CO-I-83), existen dos imágenes más que las de los gráficos de TSM.

Analizando las imágenes observamos claramente las variaciones de la TSM entre las mismas y podemos apreciar como poco a poco va incrementándose. De esta forma es posible realizar un seguimiento prácticamente desde el inicio del evento El Niño 82-83 hasta el fin del mismo. Así mismo analizaremos los gráficos de TSM, en los cuales podemos apreciar claramente la posición y desplazamiento del Frente Ecuatorial, la variación del mismo conforme el evento ENOS se desarrolla y los valores de TSM provenientes de mediciones in-situ. Al final del análisis de cada imagen y su gráfico correspondiente, procederemos a realizar la comparación de la información obtenida mediante estas dos fuentes.

Imágenes 1-2 y Gráfico TSM 1 (Figura No. 3)

Estas imágenes corresponden a los meses de marzo y abril de 1982. En el mes de marzo (imagen a) observamos temperaturas comprendidas entre los 21 y 27 °C, prevaleciendo aquellas entre los 23 y 25 °C localizadas en la parte central del área seleccionada. Para este mes aún

se observan condiciones dentro de lo normal en lo que se refiere a la TSM, razón por la cual aún no se vislumbra la ocurrencia de un evento ENOS. En el mes de abril (imagen b) se observa un descenso de la TSM sobre todo en las afueras del Golfo de Guayaquil en las cuales encontramos temperaturas entre los 19 y 21 °C. Los rangos de TSM están entre 19 y 27 °C, prevaleciendo aquellas entre los 23 y 25 °C, condiciones dentro de lo normal.

Analizando el gráfico de TSM correspondiente a estas dos imágenes observamos TSM entre los 23.5 y 27.5 °C. En la parte central del gráfico (3°S - 0°) se observa un gradiente de temperatura mucho menor que en la zona norte (0° - 1°N), la TSM tiene una variación de 1°C en 3° de latitud mientras que en la zona norte el gradiente es mayor, en 1° de latitud tenemos una variación de TSM de 2.5°C. El Frente Ecuatorial (FE) aunque débil se encuentra en una posición normal para esta época, frente al Ecuador entre aproximadamente 0° y 2°S con una variación de temperatura de 23.5° a 25 °C en 2° de latitud.

Realizando la comparación entre las imágenes y el gráfico de TSM observamos una gran similitud en lo que se refiere a los valores de TSM, en especial para el mes de marzo, que es cuando se realizaron la mayor

cantidad de mediciones in-situ. Las temperaturas predominantes en las dos imágenes coinciden con el rango de temperatura indicado para el gráfico (23.5 y 27.5 °C). Es de resaltar que en las imágenes no se puede apreciar fácilmente la presencia del FE, una de las razones es la paleta seleccionada (2°C cada color) tanto para los gráficos de TSM como para las imágenes, pero para estudios más detallados se podría realizar una comparación en este sentido, factor muy importante en la determinación de un evento ENOS.

Imagen 3 y Gráfico TSM 2 (Figura No. 4)

Esta imagen (a) corresponde al mes de agosto de 1982, observamos temperaturas comprendidas entre 19 y 25 °C, predominando aquellas entre 19 y 21 °C en la zona del Golfo de Guayaquil, observamos que la TSM va incrementándose hacia el norte donde llega a los 25°C.

El gráfico de TSM (b) nos muestra valores de temperatura entre los 20 y 26 °C. Ya para este mes se pueden apreciar las primeras manifestaciones de un evento ENOS. El FE tiene una orientación este-oeste lo cual se debe a la tendencia hacia el sur de las aguas cálidas de Panamá. La TSM cerca del Golfo de Guayaquil llegó a los 20°C y



podemos apreciar que la isoterma de 25°C esta ubicada cerca de los 0° de latitud. Como información adicional podemos decir que la isoterma de 15°C se profundizó hasta los 130m, posición inusual para la misma.

Al comparar la imagen y el gráfico observamos que el patrón general de TSM coincide; observándose las menores temperaturas en las áreas próximas al Golfo de Guayaquil. Así mismo se observa como en ambos la TSM se incrementa hacia el norte, siendo los valores de TSM un poco más elevados en el gráfico donde llega a los 26°C en el norte.

Imagen 4 y Gráfico TSM 3 (Figura No. 4)

En esta imagen (c) apreciamos temperaturas entre 21 y 27 °C, observamos que la TSM se incrementa uniformemente hacia el norte llegando a los 27°C, sin predominio discernible de ningún rango de temperatura. Es a partir de este mes que las manifestaciones de un evento ENOS empiezan hacerse evidentes por la presencia de aguas más cálidas de lo normal.

En el gráfico (d) se observan valores de temperatura entre 25 y 27.5 °C, los cuales se encontraban por encima de los normales, con anomalías

positivas de 2°C para la costa norte y 4°C para la zona del Golfo de Guayaquil. El FE desapareció de la aguas ecuatorianas y se encontraba a 10°S, lo cual era una posición extrema totalmente anormal. Como dato adicional podemos mencionar que la termoclina se profundizó considerablemente y las isothermas de 25 y 15 °C alcanzaron profundidades de 50m y 220m respectivamente. Todas estas condiciones anormales eran claras manifestaciones de un evento ENOS.

Comparando la imagen con el gráfico observamos que en la primera encontramos temperaturas aproximadamente 2°C menores que las que se aprecian en el gráfico, sobre todo en el área del Golfo de Guayaquil donde encontramos valores de TSM entre 21 y 23 °C; lo cual podría deberse al incremento de las precipitaciones para este mes, las que provocaron un aumento en la descarga de los ríos e inundaciones.

Imágenes 5-6 y Gráfico TSM 4 (Figura No. 5)

Las imágenes a y b corresponden a los meses de enero y febrero de 1983 respectivamente. En el mes de enero se observa claramente que los valores de TSM están muy por encima de lo normal, encontramos temperaturas entre 27 y 29 °C en la mayor parte de la imagen,

únicamente la zona sur del recuadro y el área cercana al Golfo de Guayaquil muestran temperaturas entre 25 y 27 °C. En la imagen del mes de febrero se observa un ligero aumento de la TSM, casi todo el recuadro tiene temperaturas entre 27 y 29 °C y únicamente al norte de las Islas Galápagos se pueden observar valores de TSM superiores a los 29°C.

En el gráfico solo observamos valores de TSM entre 27.5 y 30 °C. La TSM del Golfo de Guayaquil tiene un valor de 27.5°C que es la menor temperatura en todo el gráfico. El FE desaparece totalmente debido a la presencia exclusiva de aguas cálidas en toda la costa de Sudamérica.

Las imágenes y el gráfico de estos meses son las mas semejantes de todas las analizadas hasta el momento, esto se puede explicar debido a que los dos (imagen y gráfico) presentan un menor detalle debido a la homogeneidad de la TSM del mar para estos meses. Tanto las imágenes como el gráfico muestran valores extremadamente altos de TSM, siendo las del gráfico un poco más elevadas que las que apreciamos en las imágenes.

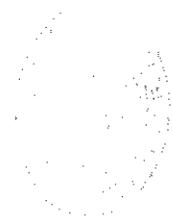


Imagen 7 y Gráfico TSM 5 (Figura No. 6)

INSTITUTO
ECUATORIANO
DE RECURSOS
ACUÁTICOS

Ya para este mes las condiciones se han normalizado. Se puede apreciar valores de TSM entre 17 y 27 °C prevaleciendo aquellas entre 21 y 23 °C. Observamos el afloramiento característico de las I. Galápagos al oeste de Isabela con una TSM entre 17 y 19 °C. La zona norte del recuadro nos muestra las máximas temperaturas (25-27°C). Se aprecia además la evidente presencia de la corriente fría del Humbolt en las costas ecuatorianas caracterizada por aguas entre 19 y 21 °C.

El gráfico de TSM también nos refleja condiciones normales para esta época. Las manifestaciones de un evento ENOS parecen haber quedado atrás totalmente, valores de TSM menores a 23°C pueden ser nuevamente observados en sus lugares característicos (afloramientos en las Galápagos). El rango de TSM se encuentra entre los 21 y 26.5 °C, teniendo las mayores temperaturas al norte (0° - 1°N). Así mismo el FE puede ser nuevamente apreciado en aguas ecuatorianas entre 1° y 2°S de latitud con temperaturas comprendidas entre 21.5 y 24 °C.

Esta imagen y el gráfico respectivo también guardan gran similitud. En ambas coincide la presencia de aguas más cálidas al norte del Ecuador,

entre 0° y 1° N aproximadamente, así como la presencia de los característicos afloramientos de las I. Galápagos con valores de TSM entre 19 y 21 °C, lo que nos indica el término del evento ENOS.

5.1.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LAS IMAGENES Y GRÁFICOS DE TSM

Los resultados que obtuvimos una vez finalizado el análisis y comparación de nuestras dos fuentes de información son los siguientes, los cuales han sido ordenados en forma cronológica.

Para los meses de abril y marzo del 82 las condiciones son aún normales, no se puede predecir la ocurrencia del evento ENOS. La TSM promedio está entre 24 y 26 °C, la cual es normal para esta época del año.

Para el mes de agosto del 82 se pueden ya apreciar algunas condiciones anormales que parecerían señalar el desarrollo de un evento ENOS, entre estas tenemos la tendencia norte-sur del FE y su orientación este-oeste

cuando lo normal era una orientación sureste-noroeste para años considerados como típicos.

Para el mes de noviembre del 82 era ya muy claro que algo estaba sucediendo, la TSM presentaba valores más elevados de lo normal (25-27 °C), la desaparición del FE de las costas ecuatorianas y su extrema posición al sur, fueron las principales manifestaciones de un evento El Niño.

Para los meses de enero y febrero del 83 la presencia de un evento ENOS era evidente, la TSM estaba muy por encima de los valores considerados normales (28 y 30 °C), el FE había desaparecido completamente. En el mes de enero El Niño llegó a su máxima intensidad, permaneciendo hasta febrero las mismas características de la TSM.

Para el mes de noviembre del 83 las condiciones se normalizaron nuevamente, el evento ENOS había llegado a su fin. Regresaron aguas frías a las costas ecuatorianas y el FE volvió a aparecer. Resulta muy interesante comparar los resultados para los meses de noviembre del 82 y 83, los cuales son muy distintos, apreciamos que en noviembre del 82

la TSM está mucho más cálida (25 - 27 °C) que la de noviembre del 83 (21 - 24°C), lo cual nos indica claramente que para este año 82 nos encontrábamos ya bajo los efectos de un evento ENOS de gran intensidad.

Cabe resaltar que en la mayoría de las comparaciones que realizamos entre las imágenes y los gráficos de TSM son muy semejantes. Las principales diferencias existentes entre los gráficos y las imágenes podría deberse a tres factores principalmente:

- Que las imágenes incluyen valores promediados de todo el mes, ya sea de día o de noche por separado; mientras que los gráficos son el resultado de las mediciones realizadas en cierto número de días y que incluyen tanto mediciones de día y de noche en el mismo gráfico
- Que las imágenes son el resultado de una interpolación de datos, lo cual nos indica que existen valores faltantes que tienen que ser interpolados. La exactitud de la interpolación depende de la cantidad de datos válidos que se tenga en cada imagen

- A la corrección geográfica a la que son sometidas las imágenes (planas) para compensar la curvatura de la Tierra, pero sin embargo en la zona ecuatorial (de donde provienen nuestras imágenes) la distorsión ocasionada es mínima

Cada método tiene sus ventajas y desventajas, por ejemplo entre las ventajas de la información captada por el satélite tenemos que esta es el resultado de un promedio de datos obtenidos durante todo un mes, lo cual nos permite apreciar cuales han sido las condiciones generales para cada mes en particular. La periodicidad de la información, su fácil obtención, su gran cobertura a escala regional son también otras ventajas de este método. Entre las principales desventajas tenemos que ésta muchas veces no refleja completamente las condiciones del mar, ya que aquellas zonas cubiertas por nubes no pueden ser registradas (el vapor de agua absorbe el infrarrojo) por lo que es necesario hacer interpolaciones para llenar los vacíos de información resultantes y a medida que aumenta la extensión de las zonas sin datos la imagen interpolada se vuelve más inexacta; debido a esto fue necesario para esta tesis utilizar alternativamente imágenes diurnas y nocturnas, de acuerdo a la cobertura de datos reales de cada una. Otra gran desventaja es que la

información proporcionada está restringida a la superficie del mar y por lo tanto no podemos obtener información alguna sobre lo que pasa en la columna de agua.

Por su parte el método de información in-situ tiene también sus ventajas y desventajas, entre las principales desventajas tenemos que los datos provenientes de mediciones in-situ no son regulares, por ejemplo en este caso solo existen datos de aquellos meses donde se realizaron los cruceros y según la duración de los mismos. Durante los meses en que no se realizan los cruceros u otro tipo de salida al lugar de interés, sencillamente no se obtiene información de lo que está sucediendo, es por esto que es muy importante establecer los calendarios de salidas de forma adecuada con el fin de obtener la información más representativa que se pueda. Otra gran desventaja de este método es que las mediciones in-situ no son sinópticas, es decir no se trata de mediciones simultáneas (los valores de TSM obtenidos se encuentran separados por un determinado período de horas), pero a pesar de esto en el gráfico los valores se toman como simultáneos, lo cual involucra un cierto margen de error en los resultados obtenidos. Entre las ventajas de este método tenemos lo detallada que esta puede ser, podemos tener información puntual cubriendo únicamente el área de interés lo que nos permite

observar de mejor forma que es lo que esta sucediendo, por ejemplo, los cambios de TSM (en una escala local) se pueden apreciar de mejor forma y más rápidamente que en las imágenes de satélite, aunque no los de escala regional; lo cual en si constituye una enorme ventaja en la detección de anomalías tempranas que indiquen la formación de cualquier tipo de evento. Otra gran ventaja de utilizar este método es que este nos proporciona información sobre lo que esta ocurriendo en toda la columna de agua. En los gráficos podemos observar la posición de las isotermas, FE, y afloramientos, todas estas características muy importantes en el análisis del evento ENOS.

5.2 ANALISIS Y RESULTADOS DE LOS VALORES PLUVIOMETRICOS

Para poder apreciar el incremento o disminución de la precipitación característica de cada evento, se realizó la diferencia entre la climatología anual correspondiente a El Niño y La Niña y aquella para los años normales y se graficó los resultados (Figura No. 7), los cuales analizaremos en este capítulo.

5.2.1 ANÁLISIS Y COMPARACION DE LOS GRAFICOS PLUVIOMETRIOS Y DIAGRAMAS OMBROTÉRMICOS

Analizando los diagramas ombrotérmicos observamos claramente la presencia de las dos estaciones: lluviosa y seca. La parte sombreada de los diagramas nos muestra los meses secos, es decir la estación seca, que por lo general tiene una mayor duración que la lluviosa, aunque en algunos casos aparentemente solo se cumple ésta última (Tulcán, Baños y El Puyo), lo que nos indica que en estas provincias llueve casi todo el año. Estos diagramas nos muestran la variación simultánea de temperatura y precipitación a través del año. También podemos decir que la duración de cada una de las estaciones varía mucho entre cada región, por ejemplo, en las provincias de la costa y Galápagos (San Cristóbal) ocurren las dos estaciones y éstas se encuentran muy bien diferenciadas a lo largo del año, así tenemos que la estación lluviosa se presenta durante los primeros meses del año, aproximadamente desde enero hasta abril-mayo y la estación seca a partir del mes de junio; en cambio para las provincias de la Sierra y Oriente (Tulcán, Baños y El Puyo) se aprecia una sola estación, la lluviosa.

Podemos apreciar fácilmente en los gráficos de los valores pluviométricos, que para los eventos ENOS la curva de precipitación (curva azul) se encuentra por encima de la normal (0), lo cual nos indica el incremento de lluvias en las diversas regiones del país, por el contrario la curva que indica eventos La Niña (curva rosada) generalmente se encuentra por debajo de la normal; sin embargo nos podemos dar cuenta que no siempre se cumple la relación El Niño - Normal > 0 , ni tampoco La Niña - Normal < 0 , produciéndose con mas frecuencia esta última. Esta contradicción la observamos sobretodo para las tres provincias de la Sierra y El Puyo.

También podemos apreciar que la curva azul muestra un solo pico (valores extremos de precipitación) en todas las provincias a excepción de Tulcán y El Puyo, el cual es muy pronunciado para los meses de marzo-abril; mientras que en la curva rosada no encontramos picos significativos, sino mas bien ligeras fluctuaciones durante todo el año principalmente en el primer semestre. A partir del mes de julio se puede apreciar una atenuación de las dos curvas sobretodo en las provincias de la costa, es decir que los efectos de estos dos eventos parecen llegar a su fin, con excepción de Tulcán y El Puyo como señalamos anteriormente. Las provincias de la Costa parecen ser más sensibles a estas dos

anomalías, ya que por lo general siguen fielmente el patrón característico de éstas.

Al comparar los gráficos con los diagramas ombrotérmicos nos damos cuenta que las provincias de la Sierra parecen tener características propias y aisladas de las demás, es decir no parecen regirse por ningún patrón característico de estos dos eventos. Observamos también que la disminución de los efectos de los dos eventos analizados coincide en la mayoría de las provincias con la época seca, es decir que mientras menor sea el porcentaje de lluvias menor será la incidencia de éstos.

5.2.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LOS VALORES PLUVIOMETRICOS

A continuación mencionaremos algunos de los resultados a los que pudimos llegar una vez realizado el análisis y comparación de los gráficos pluviométricos y los diagramas ombrotérmicos:

- Los picos que presenta la curva rosada son mucho menos pronunciados que los de la curva azul, lo que nos indica que en

nuestro país los efectos de ENOS en la atmósfera son mas intensos que los de su contraparte.

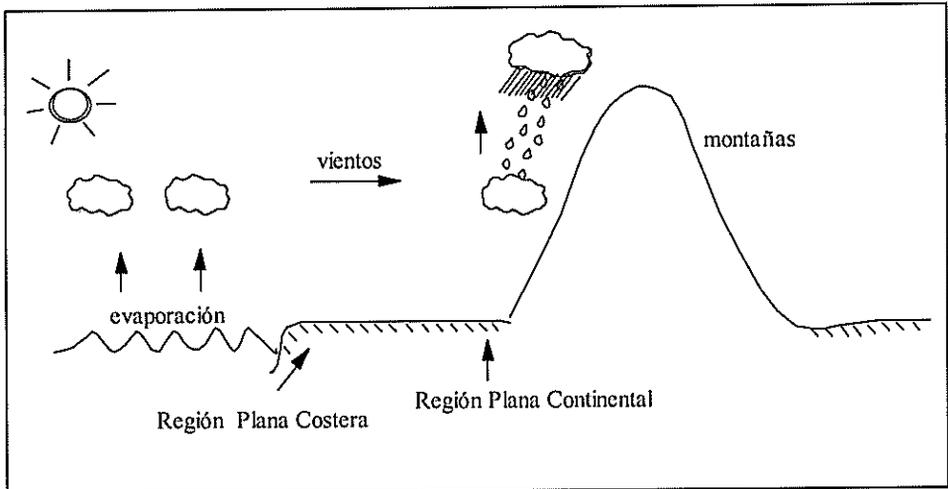
- Cada provincia tiene características propias en lo que se refiere al grado de intensidad y duración de cada una de las estaciones, al igual que los efectos de estos dos eventos (El Niño y La Niña).

- Parece haber una relación bastante clara entre el porcentaje de lluvias registrado para años normales en una localidad dada y la intensidad de las anomalías en la misma, mientras mayor sea este porcentaje mas irregulares serán las manifestaciones de las dos anomalías al igual que su duración.

- Existe la tendencia a una regionalización en el Ecuador con respecto a los efectos de estas dos anomalías. Estas regiones se pueden definir de la siguiente manera: a) Costa, que a la vez se subdivide en Región Plana Costera y Región Plana Continental, en la primera tenemos las estaciones de Esmeraldas, Manta, Portoviejo, Salinas y Guayaquil, en la segunda a Sto. Domingo de los Colorados; b) Sierra: Tulcán y Baños y c) Oriente: El Puyo

- Las provincias de la Región Plana Continental presentan de una manera mas acentuada las características propias de estos eventos, lo cual podría deberse al siguiente proceso: Al elevarse la temperatura del mar debido a un efecto ENOS, la evaporación producida también aumenta, lo cual a la vez produce una mayor formación de nubes que son llevadas tierra adentro por lo vientos locales. Las nubes chocan con las montañas (Cordillera de Los Andes), lo cual produce un efecto orográfico que provoca el ascenso de las nubes, haciendo que estas alcancen el nivel de condensación, produciéndose entonces precipitaciones en la región occidental de la Cordillera (Región Plana Continental). Por esta razón en el lado oriental de la Cordillera no se observa una presencia notoria de lluvias. Esto lo podemos apreciar fácilmente en la Figura No. 8
- Las provincias de la Sierra y el Oriente debido a su posición geográfica precedidas por la Cordillera de Los Andes y montañas en general se encuentran lejos de la influencia directa de los efectos de estas dos anomalías en especial de El Niño. Los efectos se presentan con mas irregularidad y con menor intensidad, por lo que se podría pensar que dicho cordón montañoso debilita los efectos estos eventos.

Figura No. 8.- Proceso de intensificación del Régimen de Precipitación en la Región Plana Continental durante ENOS.



5.3 PRESENTACION DE LAS IMAGENES, GRAFICOS DE TSM Y PLUVIOMETRICOS

A continuación presentamos los gráficos de TSM, las imágenes de satélite y los gráficos pluviométricos.

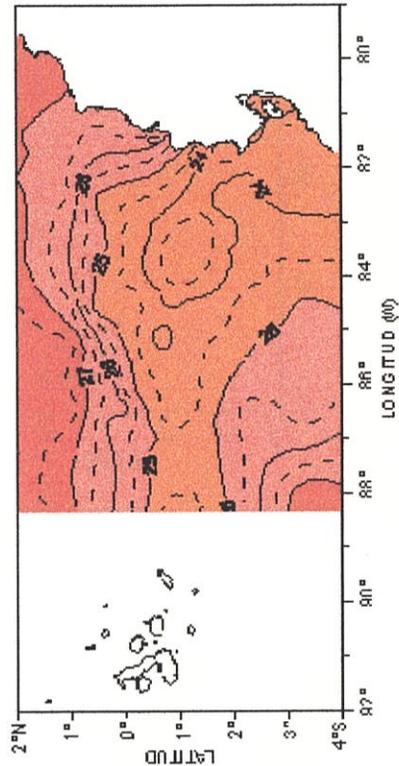
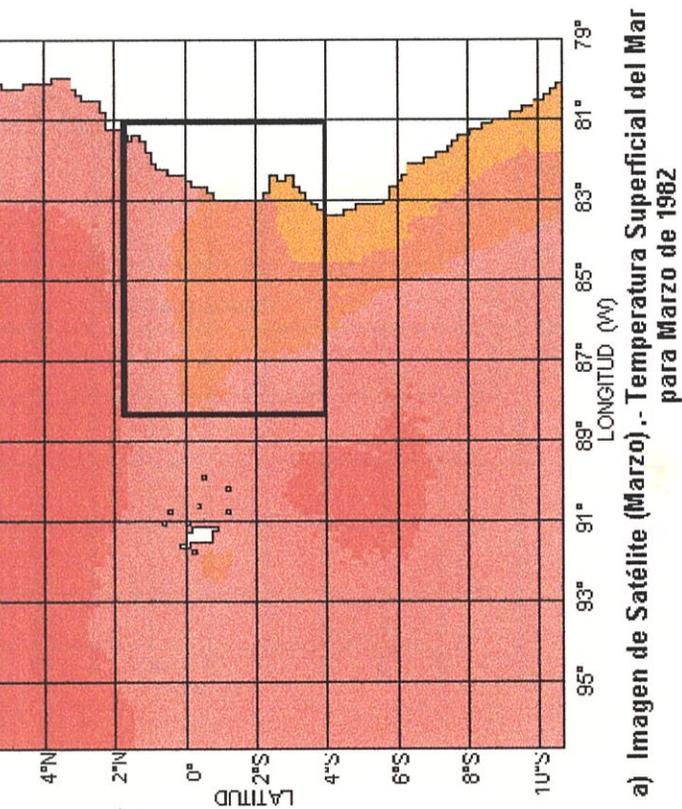
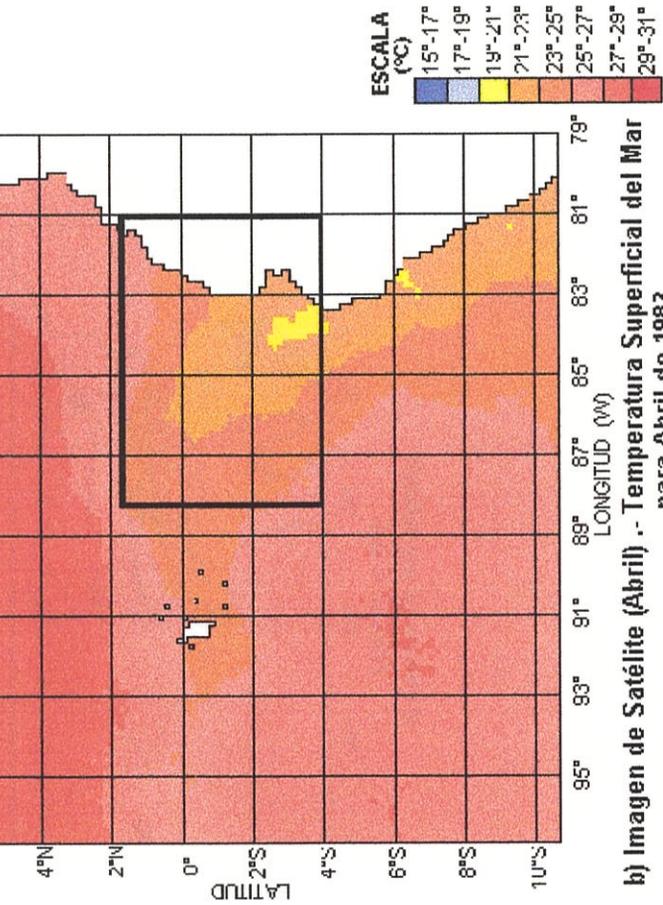


Figura No. 3.- TSM obtenida a partir de datos de satélite y de cruceros para Marzo-Abril de 1982

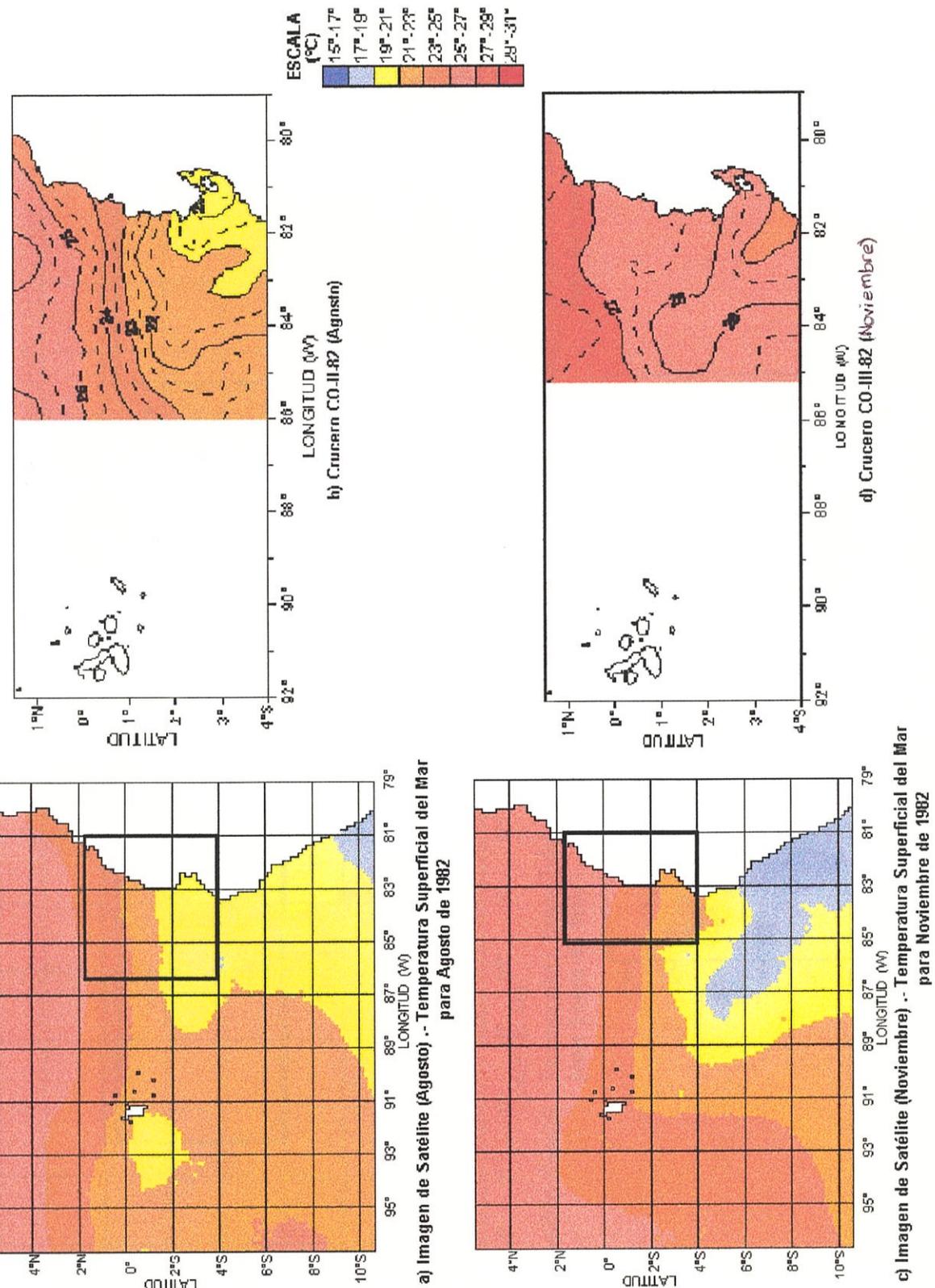


Figura No. 4.- TSM obtenida a partir de datos de satélite y de cruceros para Agosto-Noviembre de 1982

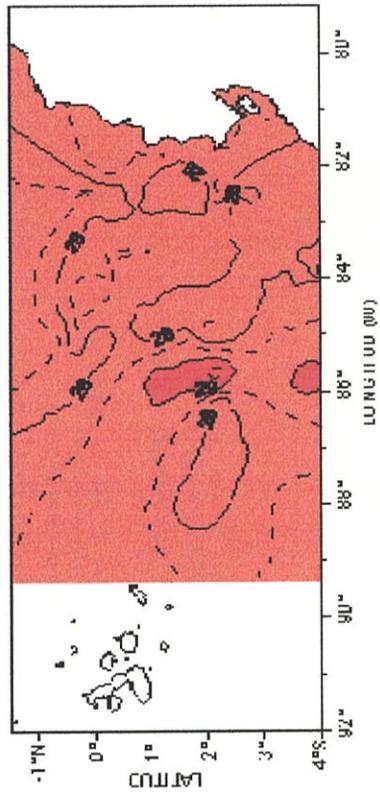
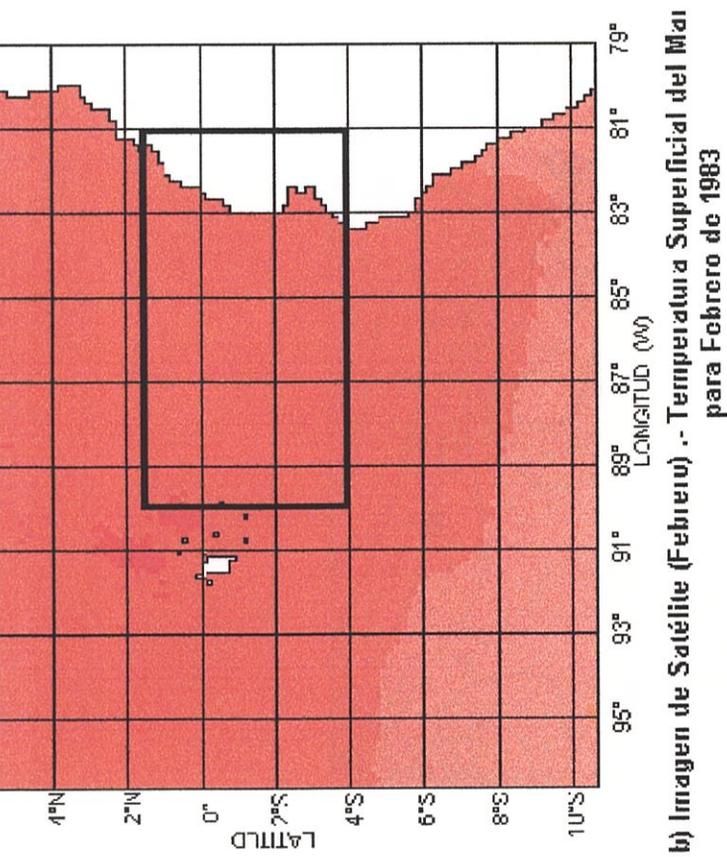
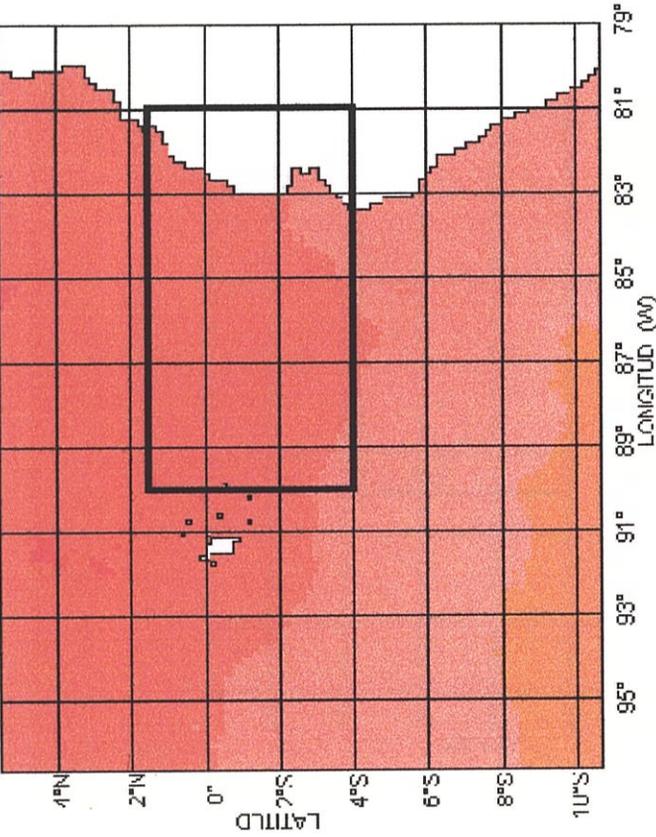
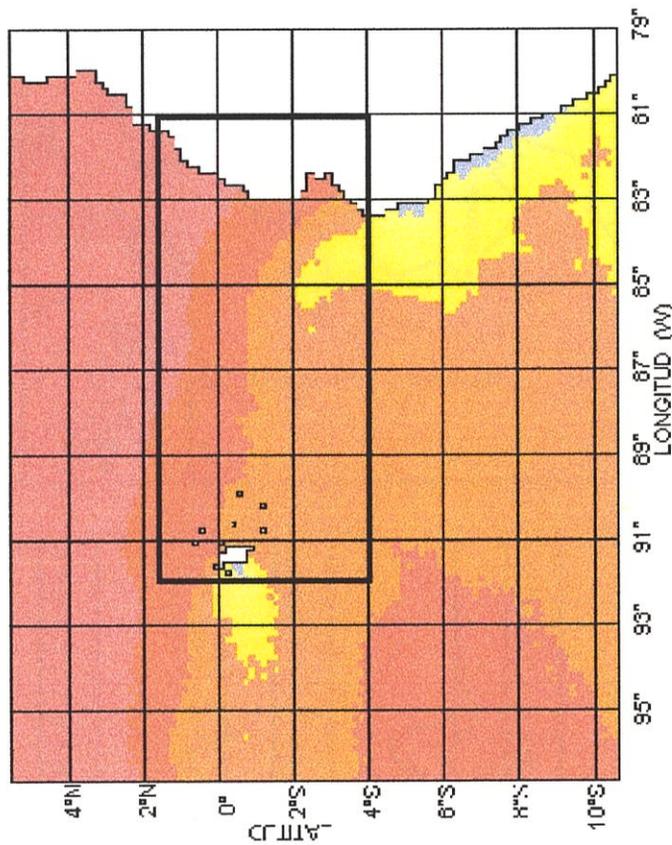
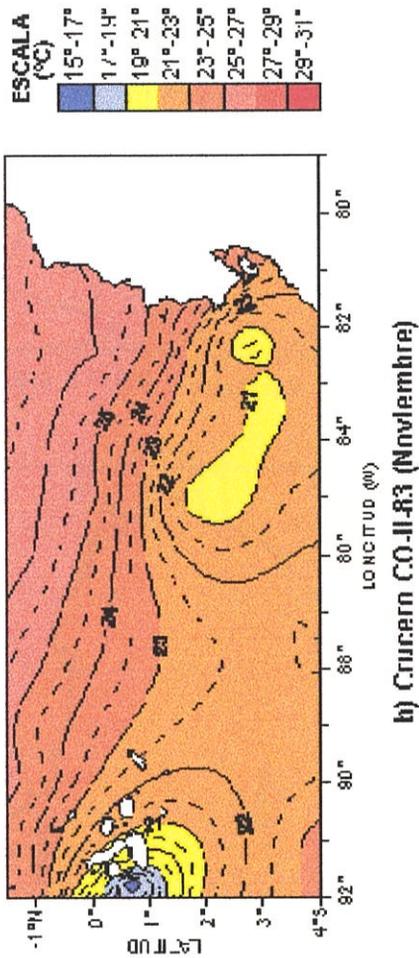


Figura No. 5.- TSM obtenida a partir de datos de satélite y de cruceros para Enero-Febrero de 1983



a) Imagen de Satélite (Noviembre) .- Temperatura Superficial del Mar para Noviembre de 1983



b) Crucero CO-11-83 (Noviembre)



Figura No. 6.- TSM obtenida a partir de datos de satélite y de cruceros para Noviembre de 1983

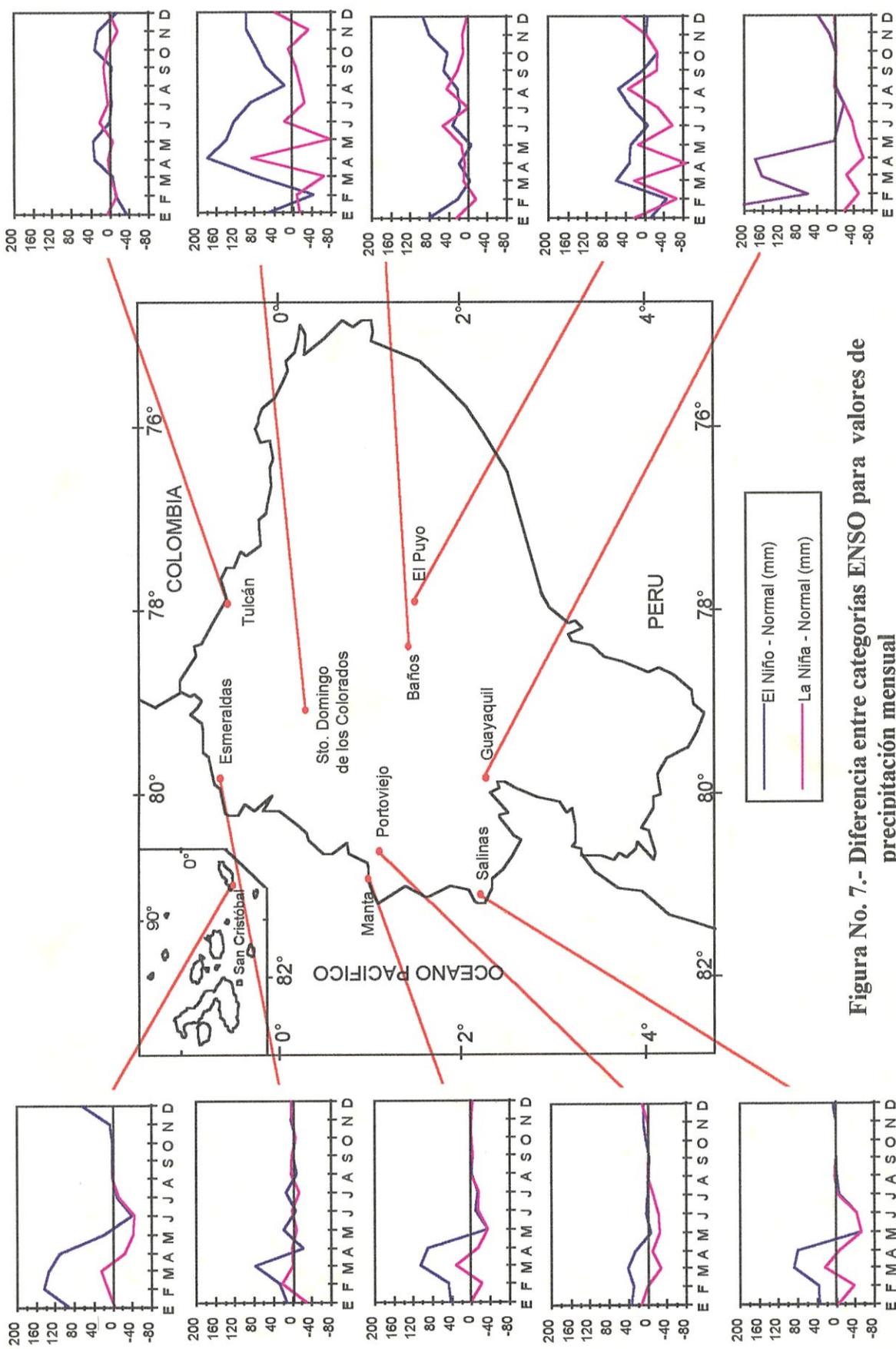


Figura No. 7.- Diferencia entre categorías ENSO para valores de precipitación mensual

CONCLUSIONES

Una vez finalizado el análisis de los resultados de la comparación de las imágenes y los gráficos, hemos llegado a las siguientes conclusiones:

1. Encontramos una gran semejanza entre las imágenes del satélite y los datos de los cruceros oceanográficos, lo cual nos demuestra que las mediciones realizadas por medio de satélites que contienen sistemas sensores remotos son bastante confiables y que por lo tanto podemos basar nuestros estudios en las imágenes que estos nos proporcionan. Esto significa que es posible realizar modelos numéricos que permitan inferir TSM en puntos específicos de interés en base a datos de satélite
2. Lamentablemente no todas las características del medio pueden ser observadas por los satélites, por lo que resulta necesario complementar este tipo de información con datos in-situ, factor que se debe considerar en la elaboración de modelos de TSM en base a datos de satélite
3. La calidad y cantidad de información que pueda obtenerse de los satélites depende en gran medida de las condiciones de nubosidad existentes en el ambiente, esto dificulta e impide la recepción de señales por parte del sensor

4. Resulta mas fácil percibir la presencia de condiciones anormales observando los gráficos de TSM obtenidos de los cruceros que de las imágenes proporcionadas por el satélite, esto se debe principalmente: a) a la estructura vertical de los gráficos y b) a su resolución espacial. Sin embargo, para efectos de pronóstico de ocurrencia y magnitud, las imágenes de satélite nos proporcionan la “voz de alerta” antes que los datos de cruceros, esto se debe a la periodicidad con la que se pueden obtener las imágenes y la cobertura a nivel regional de las mismas
5. Tanto las imágenes como los gráficos de TSM son el resultado de una serie de interpolaciones de los valores reales existentes, por esta razón las dos fuentes podrían estar sujetas a errores. Esto nos indica que estas dos fuentes de información se complementan; y por lo tanto es necesario basar nuestros estudios tanto en las imágenes dadas por los satélites como en los gráficos procedentes de mediciones in-situ



BIBLIOTECA
FAC. ING.
MEXICALCAN

En cuanto al análisis realizado para los gráficos pluviométricos y diagramas ombrotérmicos llegamos a las siguientes conclusiones:

1. En general las dos regiones de la costa son más sensibles a los efectos de los eventos ENOS y La Niña; incremento de lluvias durante El Niño y disminución de lluvias durante La Niña, muy en especial la Región Plana Continental donde estos efectos se observan con mayor grado de intensidad debido al factor antes indicado (Figura No. 8)
2. Al tratar de hacer una regionalización del Ecuador de acuerdo al impacto causado por estas dos anomalías, en especial de ENOS, podemos observar que existen cuatro zonas o regiones claramente diferenciadas: Región Plana Costera, Región Plana Continental, Región Interandina y Región Oriental, siendo la de mayor impacto la Región Plana Continental, como también lo señala Darren en su estudio de la variabilidad de precipitación en el Ecuador para eventos ENOS (Darren 1995); y la de menor impacto la Región Oriental, en donde no se observan patrones muy definidos, tanto por la falta de estaciones seleccionadas en esta zona como por su ubicación geográfica en donde los efectos parecen debilitarse notoriamente

LIBRERIA
FAC. ING.
MANABIA

3. La Región Interandina y Oriental por su parte no presentan un patrón característico de estos dos eventos, en su lugar podemos apreciar una serie de irregularidades a lo largo de los años que nos indican la ocurrencia tanto de El Niño como de La Niña

4. La situación geográfica de las regiones juega un papel muy importante en la forma en la que estas dos anomalías se presentan; por ejemplo la presencia de la Cordillera Interandina parece debilitar enormemente los efectos de éstos eventos en aquellas provincias que se encuentran precedidas por la misma (provincias de la Sierra y Oriente)

5. Las estaciones meteorológicas que nos indican mayor impacto en lo que se refiere al porcentaje de lluvias para un evento ENOS son las de Guayaquil y Sto. Domingo de los Colorados, esta última ubicada en la región a la que denominamos Plana Continental. Sin embargo, debido a que no podemos delimitar con seguridad la Región Plana Continental, resulta muy difícil ubicar a la estación de Guayaquil, ya que el porcentaje de lluvias registrado es el más alto de todos y esta no se encuentra ni tan cercana al Océano Pacífico ni tan alejada como la de Sto. Domingo de los Colorados, lo cual podría ser tema de un análisis posterior, el tratar de delimitar con mayor detalle a la Región Plana Continental y que provincias pertenecen a la misma.



INM
INSTITUTO
NACIONAL
DE METEOROLOGÍA
E HIDROLOGÍA

RECOMENDACIONES

Debido a la importancia de poder preveer con cierta anticipación eventos naturales extremos se recomienda implementar el uso de imágenes de satélite o cualquier información adsequible via INTERNET u otras fuentes que brinden información continua acerca del estado global del planeta, sin descuidar por ello la obtención de datos provenientes directamente de la zona de interés.

Concurrente a lo anterior se recomienda para la elaboración de futuros trabajos de diversos tópicos recurrir a la base de datos que pone a nuestro alcance la amplia red INTERNET, ya que ésta resulta una forma rápida y segura de poder contar con datos actuales y reales sobre prácticamente cualquier tema.

Cabe indicar que debido a la importancia de la información proporcionada por las estaciones meteorológicas se recomienda incrementar el número de éstas, prestando especial interés a la Región Plana Continental, en la cual deberían también realizarse estudios más detallados sobre este aspecto. Incrementar estudios acerca de Modelaje Numérico de TSM basado en datos de satélite vs datos in-situ, como lo está haciendo el estudiante José Garcés en la elaboración de su tesis (Comunicación personal, 1996).

BIBLIOGRAFIA

1. AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY. Weather Satellites: Systems, Data, and Environmental Applications; Boston, 1990, p: 23-25, 51-57, 429-435, 472-473
2. BJERKNES, J. A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature; Tellus, 1966, p: 820-829
3. CAÑADAS, L. El mapa bioclimático y ecológico del Ecuador; Editores Asociados, Quito, 1983, 10-69
4. DARREN, R. Precipitation variability over Ecuador associated with the El Niño/Southern Oscillation, University of Florida, 1995, Tesis de Grado, p: 7-10, 28
5. DIRECCIONES DE INTERNET
6. ENFIELD, D. El Niño, Past and Present; American Geophysical Union, Miami-Florida, 1989, p: 159-187
7. ENFIELD, D. Historical and Prehistorical Overview of El Niño/Southern Oscillation; Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory, Miami-Florida
8. ENFIELD, D. Is El Niño becoming more common?; Atlantic and Meteorological Laboratory, Miami-Florida, 1988, p: 23-27
9. ENFIELD, D. Progress in understanding El Niño; Endeavour New Series Vol. 11, No. 4, 1987, p: 197-204

10. LARSON, R. & STRÖMQUIST, L. Análisis Práctico de Fotografías Aéreas y Fotointerpretación para Monitoreo Ambiental; III Curso-Taller sobre Monitoreo del medio ambiente con análisis de imágenes satelitarias, Quito, 1993, p: 1-6
11. LARSON, R. & STRÖMQUIST, L. Un Enfoque Práctico al Análisis de Imágenes de Satélite para el Monitoreo Ambiental; III Curso-Taller sobre Monitoreo del medio ambiente con análisis de imágenes satelitarias, Quito, 1993, p: 3-20
12. Manual of cd-rom set containing monthly mean distributions for the global oceans. Jet Propulsion Laboratory, 1993, p: 1-16
13. MANUAL OF INTERPRETATION OF ORBITAL REMOTE SENSING; 1976, p: 13-23
14. MANUAL OF REMOTE SENSING; 1983, Vol. I y II, No. 2, Capítulos 4, 5, 12, 14, 26-36
15. MOREANO H., ZAMBRANO E., CORDERO C., CERVANTES E., SUESCUM R., VASCONCELLOS O. & PAREDES N. El Niño 1982-1983, Su formación, su desarrollo y sus manifestaciones en aguas ecuatorianas; INOCAR, 1983, p: 1-11
16. NATIONAL GEOGRAPHIC. El Niño Global Weather Disaster; Vol. 165, No. 2, February 1984, p: 144-183
17. QUINN W., NEAL T., ANTUNEZ de MAYOLO S. El Niño occurrences over the past four and a half centuries; 1987, p: 449-461
18. SALVAT, Biblioteca de Grandes Temas. Los Satélites Artificiales; SALVAT, Barcelona, 1973
19. SANTOS, S. Comportamiento de los parámetros meteorológicos en el fenómeno de El Niño 1982-1983 en la Región Ecuatorial. ESPOL, 1987, Tesis de Grado



BIBLIOTECA
NACIONAL
DEL ECUADOR

20. SEGOVIA, A. Adquisición de información de sensores remotos para la planificación de la zona costera; Primer seminario sobre ordenación y desarrollo integral de las zonas costeras, Guayaquil, 1981, p: 1-12
21. STEWART, R. Methods of Satellite Oceanography; Universtiy of California Press, 1985, p: 289-329
22. THE OCEAN OBSERVING SYSTEM PANEL. 1995. Scientific Design for the Common Module of the Global Ocean Observing System and the Global Climate Observing System: An Ocean Observing System for Climate, Department of Oceanography, Texas A & M University, Texas, p: 1-16
23. WALKER, G. World Weather I; 1923, p: 75-131
24. WYRTKI, K. El Niño - La Reacción Dinámica del Océano Pacífico Ecuatorial al Forzamiento Atmosférico; 1975, p: 41-54