

# **“PRONÓSTICO DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR Y SU APLICACIÓN A LOS RECURSOS COSTEROS”**

**J.G. y J.S**

## **RESUMEN**

Se relacionan tres series de tiempo de temperatura superficial del mar correspondiente a las latitudes 00°30', 01°30' y 02°30' sur a lo largo de la misma longitud (81°30' oeste) e índices oceánicos (Niño 1+2, Niño 3, Niño 4 y Niño 3.4) provenientes del satélite con valores In Situ de temperatura superficial del mar de la estación costera de Manta y valores de venta de redes de camarón de un establecimiento de La Libertad, estableciéndose correlaciones en forma normal como en anomalías, para luego escoger los mejores resultados y así establecer modelos de regresión lineal y múltiple para el pronóstico de temperatura superficial del mar y venta de redes, así como sus similitudes y diferencias.

## **INTRODUCCIÓN**

Uno de los principales problemas que ha tenido el hombre es descifrar los misterios de la naturaleza y por ello ha trabajado incesantemente para poder entenderlos y obtener el mayor provecho posible. Es así que han nacido las diferentes ciencias cuyo fin es investigar y descubrir la manera más fácil y adecuada para el hombre de convivir con el entorno que lo rodea.

José Garcés, Oceanografía, 1.997.

José Santos, Oceanógrafo, ESPOL, 1.982; Maestría (Oceanografía, Rhode Island, Rhode Island, 1.984), Maestría (Ciencias Atmosféricas, Instituto Tecnológico de Georgia, Georgia, 1.986), Ph. D. (Ciencias Atmosféricas, Instituto Tecnológico de Georgia, Georgia, 1.990); profesor ESPOL (1.989).

Una de las formas de las que se ha valido el hombre para poder investigar su entorno y de esta manera sacarle el mayor provecho, son los satélites artificiales los que han ampliado considerablemente las fronteras del conocimiento humano.

Es de conocimiento de las personas lo difícil que es pronosticar un terremoto, cuándo lloverá, la ocurrencia de un maremoto, de un huracán, de un tornado o del evento El Niño por nombrar unos cuantos. Para poder prever cualquiera de estos eventos el hombre ha utilizado datos, los cuales han sido recopilados In Situ y en forma remota por medio de satélites. Mucho se ha trabajado para perfeccionar los sensores de los satélites para que den una medida que esté lo más cerca al valor real del parámetro físico que quiera estudiarse para de esta manera obtener una base de datos lo más confiable posible.

Una de las instituciones que más ha trabajado en pronósticos océano-atmosféricos es la National Oceanographic Aeronautics Administration (NOAA) y una de sus herramientas más importantes para la obtención de datos son los satélites artificiales. La NOAA ha desarrollado muchos modelos de predicción pero todavía se trabaja en estudiar la diversas interrelaciones oceánicas, atmosféricas y ambientales para mejorar y desarrollar nuevos modelos.

El Ecuador tiene por lo menos 15 años coordinando programas de prevención climática, organizando el trabajo de diversas instituciones gubernamentales y universidades para poder beneficiarse de las condiciones “anormales” o atenuar de algún modo los efectos adversos, pero ha tenido problemas con el acceso a información global, superados últimamente con el uso de Internet; entre esas instituciones tenemos a la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR), el

Instituto Nacional de Pesca (INP), el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y el Centro de Levantamiento Integrado de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN).

Estos programas de prevención climática son de vital importancia para el Ecuador ya que al prever situaciones anómalas se podrá tomar las acciones necesarias para precautelar la producción de fuentes de divisas tan importantes como son las obtenidos por las pesquerías y acuicultura, además de ello son el sustento diario de muchas familias que reciben algún tipo de beneficio ya sea directa o indirectamente.

Nuestro país es una de las áreas más ricas en nutrientes del mundo es por ello que existen un sinnúmero de especies marinas repartidas a lo largo de la costa ecuatoriana, lo cual ha dado lugar a que múltiples empresas se apoyen en ello, entre ellas, la industria camaronera, una de las más significativas.

Es conocido que en nuestro país se cultiva el camarón a lo largo de costa, concentrándose la gran mayoría en la zona del Golfo de Guayaquil; una de las especies más cultivadas es el *Penaeus Vannamei*.

Se sabe que el evento ENSO, el cual produce un aumento en la temperatura del agua entre otras cosas, es beneficioso por cuanto hay un aumento significativo en la reproducción lo que se ve incrementado con las lluvias, ello se debe a una exuberancia de postlarvas; durante eventos “fríos” como La Niña (El Viejo) sucede todo lo contrario, hay una desabastecimiento de postlarvas.

Es por demás sabido que los laboratorios de larvas necesitan de la hembra ovada (grávida) para poder abastecerse de larvas para su posterior comercialización. Esta hembra ovada es capturada por pescadores artesanales, que salen en sus pequeñas embarcaciones en pos de encontrar esta hembra por medio de redes.

El país necesita de trabajos que realcen el lazo entre el exceso y la deficiencia de postlarvas y los cambios climáticos para de esta manera poder realizar modelos de pronósticos que conllevarían a una mejor prevención de las pérdidas económicas.

Debido a lo importante que es conocer el número de hembras ovadas que se encuentran disponibles (se establecería la cantidad de larvas), y ya que no existe ningún registro directo de dicho parámetro, es necesario utilizar índices que nos permitan inferir de alguna manera el comportamiento del parámetro que se desea estudiar, en este caso se utilizó una serie de tiempo de venta de redes utilizada en la captura de estas hembras ovadas como un indicador de su disponibilidad. Esta serie de tiempo se utilizará para comprobar si la cantidad de hembras ovadas reacciona a los cambios de temperatura superficial que se dan a lo largo del tiempo.

La presente tesis se enmarca dentro del desarrollo del programa de Investigación titulado “Estudios Climáticos Aplicados” (ECLIMA) de la Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar (FIMCM) que tiene previsto el uso de datos provenientes de sensores remotos en Oceanografía con el objeto de estudiar la variabilidad climática y su impacto en el ecosistema, este tema es uno de ellos.

El objetivo general es el obtener un modelo lineal para poder pronosticar la temperatura superficial del mar en base a valores proporcionados por satélite y valores In Situ, utilizando técnicas estadísticas.

Como objetivo secundario esta optimizar la producción de un laboratorio de larvas aplicando el modelo de regresión lineal obtenido, basados en la premisa de una alta correlación entre la temperatura superficial del mar y la disponibilidad de las camaronas ovadas (grávida).

## **1. DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA**

La información utilizada en el presente trabajo representa datos provenientes de satélites de la NOAA utilizando el sensor llamado Radiómetro Avanzado de Alta Resolución (AVHRR, siglas en inglés), obtenidos mediante la red Internet, unidades de venta de redes camaroneras de un establecimiento ubicado en La Libertad (Península de Santa Elena) y datos In Situ de Temperatura Superficial del Mar proporcionados por el INOCAR.

Los datos de satélite corresponden a tres puntos ubicados a lo largo de la longitud (81°30' oeste) en las latitudes 00°30', 01°30' y 02°30' sur; además temperatura superficial promedio de las regiones Niño 1+2 (longitud 90-80O, latitud 0-10S), Niño 3 (longitud 150-90O, latitud 5N-5S), Niño 4 (longitud 160E-150O, latitud 5N-5S) y Niño 3.4 (longitud 170O-120O, latitud 5N-5S), llamados índices oceánicos, los valores In Situ corresponden a un punto en la costa ecuatoriana 00°56' latitud sur y 80°44' longitud oeste (estación meteorológica y oceanográfica de Manta, (ver gráficos 1 y 2). Los valores de venta de redes se podría decir que son representativos de la zona peninsular por ser éste establecimiento uno de los principales proveedores de las mencionadas redes camaroneras.

Debido a que las series de tiempo de temperatura superficial del mar proporcionadas por la NOAA (puntos fijos) se encuentran espacialmente separados 1° de latitud como de longitud se escogió los más cercanos a la estación Manta y a la Península de Santa Elena.

## **2. DESCRIPCIÓN DE LA SERIES**

### **2.1. DATOS IN SITU**

Se escogió la estación meteorológica y oceanográfica de Manta, por tener la mayor cantidad de datos mensuales continuos, de todas las estaciones oceanográficas a lo largo de la costa ecuatoriana. La serie de tiempo escogida corresponde a datos de promedio mensual temperatura superficial del mar obtenidos desde Octubre de 1.974 hasta Octubre de 1.995 (252 valores).

### **2.2. DATOS DEL SATÉLITE**

Las series escogidas corresponden a valores promedios de temperatura superficial del mar mensuales desde el mes de Noviembre de 1.981 hasta Octubre de 1.995 (166 valores, en los sitios específicos, ver gráfico 2).

Como se puede apreciar las series de tiempo obtenidas del satélite (puntos fijos) son más cortas que la de In Situ, por lo que no se podría hacer una comparación valedera; por ello se tuvo que realizar el análisis desde Marzo de 1.982 a Octubre de 1.995 (Fig. 1). De la misma forma se tuvo que acortar la serie satelital 02°30'S para poder relacionarla con la serie de venta de redes comenzando entonces en Abril de 1.987 y terminando en Octubre de 1.995 (Fig. 5), ello mismo se realizó con los valores promedios de temperatura superficial de las regiones del Niño 1+2 (Fig. 9), Niño 3 (Fig. 9), Niño 4 (Fig. 10) y Niño 3.4 (Fig. 10) .

No se trabajó desde el mes de Noviembre de 1.981 en el caso de las serie In Situ relacionadas con las series satelitales debido a que la serie de la estación Manta estaba incompleta en los meses de Diciembre de 1.981 y Enero-Febrero de 1.982. Se prefirió realizar ello ya que eran valores iniciales seguidos faltante de las serie de Manta.

### **2.3. DATOS SOBRE RECURSOS COSTEROS**

Se escogió la serie de tiempo de venta de redes para pesca de camarón de un establecimiento de La Libertad como un indicador de la cantidad de hembras ovadas que se captura en la zona de la Península de Santa Elena, ya que no existen registros de la cuantía de aquellas hembras.

La serie de tiempo corresponde a unidades de redes vendidas en cada mes desde Abril de 1.987 hasta Octubre de 1.995 (103 valores).

Para realizar el análisis de los datos se trabajó en tres partes, relacionando los datos In Situ con los proporcionados por el satélite, los datos de venta de redes de camarón con los datos del satélite correspondientes a 02°30'S (se escogió esta serie satelital por estar más cerca a las costas de la Península de Santa Elena y porque se presenta la mayor correlación) y los valores de venta de redes de camarón versus valores promedios de temperatura superficial de las regiones del Niño 1+2, Niño 3, Niño 4 y Niño 3.4.

## **3. ANÁLISIS Y RESULTADOS**



### **3.1. PRIMERA PARTE: DATOS IN SITU VERSUS SERIES SATELITALES**

#### **3.1.1. Análisis de Anomalías**

El análisis de las anomalías nos sirve como un filtro de la serie de temperatura superficial ya que por medio de este se elimina el ciclo anual.

Observando la figura 2 correspondiente a las anomalías de las series proporcionadas por el satélite (latitudes 00°30', 01°30', 02°30' S), parecería ser que se ajusta mejor a los eventos anómalos (El Niño, La Niña) que la serie In Situ de Manta por el descartamiento del ciclo anual.

#### **3.1.2. Análisis de Comparación Mensual de las Series**

Para realizar una mejor descripción de las variaciones en el ciclo anual de las series, se hizo un promedio mensual de las mismas (Fig. 3). Al hacerlo, se observan 4 rangos bien definidos para la serie de Manta.

1. Febrero a Mayo una temperatura que varía de 25,50°C a 27,50°C correspondiendo a la época "lluviosa".
2. Mayo a Agosto un descenso de temperatura de 2°C aproximadamente correspondiendo a la etapa de transición de la época "lluviosa" a la "seca".
3. Agosto a Noviembre una temperatura que varía de 23,60°C a 25,60°C correspondiendo a la época "seca".
4. Noviembre a Febrero un aumento de temperatura de 2°C aproximadamente correspondiendo a la etapa de transición de la época "seca" a la "lluviosa".

Similares características se pueden observar para las series provenientes de satélite, notándose que mientras nos dirigimos hacia el sur estas señales se enfrían (Fig. 3), ello se debe a que en el norte del Ecuador las aguas se encuentran más influenciadas por aguas tropicales superficiales ("calientes"), mientras que hacia el sur la temperatura superficial disminuye, debido a que se encuentra más influenciada por las aguas de la corriente del Humboldt ("frías"). Así mismo estas señales se amplifican (Fig. 3) debido al alejamiento del ecuador térmico en donde las estaciones (seca y lluviosa) no son tan "acentuadas" y por ende no hay una gran variación de temperatura (amplitud) por cambios de estación.

Otros agentes que son importantes para esta diferencia latitudinal incluyen la influencia de aguas locales provenientes del Golfo de Guayaquil (latitud  $02^{\circ}30'S$  cerca de Salinas) ya que hay una gran diferencia de temperatura superficial promedio entre los valores de la estación Manta y la mencionada latitud, siendo la menor  $1^{\circ}C$  y la mayor  $4,5^{\circ}C$  correspondiendo a Febrero y Septiembre respectivamente (Fig. 3). De la misma forma aguas locales provenientes del estuario del río Chone, estarían afectando los valores superficiales promedios de la estación Manta y los del satélite (latitud  $00^{\circ}30'S$ ), observándose eso sí, una diferencia menor de temperatura entre la estación Manta y la latitud señalada, siendo la menor  $0,5^{\circ}C$  y la mayor  $1,25^{\circ}C$  correspondiendo a Febrero-Octubre y Abril respectivamente (Fig. 3).

### **3.1.3. Correlaciones de las Series**

Se correlacionó cada una de las series de satélites con la estación Manta, de igual manera se lo realizó con las anomalías, obteniéndose correlaciones altas (Tabla I) lo que supone que variaciones de temperatura superficial del mar en las latitudes tomadas por el

satélite (posición más oceánica) son coherentes a cambios de temperatura superficial del mar In Situ (estación Manta y posición más costera).

Como se puede apreciar en la Tabla I, las correlaciones de las anomalías son más bajas que las normales, esto se debe a que las anomalías descartan el ciclo anual que tiene una señal muy fuerte pero en cambio son más significantes estadísticamente hablando. Así mismo se adelantó la serie Manta un mes para determinar si ello aumentaba la correlación, pero ello no sucedió como se observa en la Tabla I.

**Tabla I.-** Coeficientes de Correlación (r), de las Series de Satélite con Manta

	Sin adelanto			Manta adelantada un mes		
	00°30'S	01°30'S	02°30'S	00°30'S	01°30'S	02°30'S
<b>Normal</b>	0,8435	0,835	0,825	0,772	0,782	0,787
<b>Anomalías</b>	0,772	0,753	0,743	0,724	0,715	0,717

### 3.1.4. Correlaciones por Mes de Temperatura

Al realizar un análisis de las variaciones estacionales para cada mes, encontramos una mayor y menor correlación existente entre los meses de Marzo y Junio con un pico en el mes de Junio y un pico en el mes de Enero respectivamente (Fig. 4). Las bajas correlaciones (Enero y Febrero) se deben tal vez por la formación de nubes que impiden que el satélite (sensor) capte de una manera continua la señal ya que este sensor es un radiómetro que ofrece imágenes en el rango visible, infrarrojo cercano y medio e infrarrojo termal del espectro electromagnético que faculta la “visualización” de la superficie marina si esta se encuentra despejada (sin nubes) con un poder de resolución (pixel) de 1 Km. En época lluviosa hay un desplazamiento hacia el Sur de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), zona caracterizada por una banda angosta de levantamientos dinámicos convectivos

en el aire húmedo y cambiante surgido de los océanos que se traslada de un hemisferio a otro a lo largo de la zona ecuatorial; este movimiento se debe a la intensificación de los alisios ya sea del sudeste o del noreste. El alisio del noreste se desplaza al hemisferio sur de diciembre-marzo produciendo un traslado de la ZCIT hacia latitudes sur y por consiguiente ancho de nubes (baja aproximadamente hasta 8°S).

A continuación se muestran las principales propiedades estadísticas de las series de tiempo (Tabla II).

**Tabla II.-** Propiedades Estadísticas de las Series de Tiempo (Manta y Satelitales)

Propiedad Estadística	MANTA	00°30'S	01°30'S	02°30'S
	Temp. (°C)	Temp. (°C)	Temp. (°C)	Temp. (°C)
$\mu_x(t)$	25,71	24,92	23,76	22,83
$\sigma_x(t)$	1,35	1,36	1,85	2,18
Máximo	30,20	29,52	29,35	29,11
Mínimo	22,00	22,49	20,66	19,46

### **3.2. SEGUNDA PARTE: DATOS DE VENTAS DE REDES VERSUS SERIE 02°30'S SATELITAL**

#### **3.2.1. Análisis de Comparación Mensual de las Series**

Realizado el promedio mensual de la series Redes y 02°30'S (fig. 7), se pueden evidenciar algunas cosas interesantes:

1. La venta de redes crece substancialmente a partir de Enero, siendo Junio el mes de mayor venta.
2. Hay un gran decrecimiento de venta de redes comenzando Julio, siendo el mes de Septiembre el de menor venta.

3. Se podría decir que en la época "seca" es cuando menos se vende y en la época "lluviosa" hay un incremento de las ventas.

Se adelantó la serie redes un mes, obteniéndose un mejor resultado en lo que se refiere a correlación ( $r = 0,74$ ).

### 3.2.2. Correlaciones de las Series

Al correlacionar la series tanto en forma normal como en anomalías, se obtuvo correlaciones relativamente altas (Tabla IV), pero que estadísticamente son poco significativas. Así mismo se adelantó la serie redes un mes obteniéndose un coeficiente de correlación un tanto mayor para las series en forma normal, no así en anomalías.

**Tabla III.-** Coeficientes de Correlación ( $r$ ), de las Series redes con la serie 02°30'S

	Sin adelanto	Redes adelantada un mes
Normal	0,4253	0,4326
Anomalías	0,3598	0,2985

### 3.2.3. Correlaciones por Mes

Analizando las correlaciones por mes de ambas series (fig. 8), se observa una altísima correlación en los meses febrero, abril y mayo y bajas correlaciones en los demás meses, incluso siendo negativas en los meses de enero, octubre y diciembre, en forma general se podría decir que en época "lluviosa" existe una mayor correlación que en la "seca".

Se presentan en la siguiente tabla algunas propiedades estadísticas interesantes de la series (Tabla VI).

**Tabla IV.-** Propiedades Estadísticas de las Series de Tiempo (Redes y 02°30'S)

Propiedad Estadística	REDES Venta (unidades)	02°30'S Temp. (°C)
$\mu x(t)$	284,38	22,64
$\sigma x(t)$	217,13	1,90
Máximo	1213	27,42
Mínimo	16	19,46

### **3.3. TERCERA PARTE: VALORES DE VENTAS DE REDES VERSUS ÍNDICES OCEÁNICOS**

#### **3.3.1. Análisis de Comparación Mensual de las Series**

Las figuras 13 y 14 muestran los promedios mensuales de las serie redes y de los índices oceánicos en donde se puede apreciar:

1. Los índices oceánicos Niño 1+2, Niño 3, reflejan la época seca y lluviosa, no así el Niño 3.4 en donde se nota un desfase de aproximadamente 2 meses, en el Niño 4 hay una temperatura superficial uniforme durante casi todo el año siendo menor durante los meses de Enero a Abril, condiciones totalmente opuestas a lo que sucede en las costas del Ecuador, este hecho es valedero puesto que mientras el Pacífico Ecuatorial Oriental está “frío” el Pacífico Ecuatorial Occidental está “caliente” .
2. Entre la venta de redes y los índices oceánicos Niño 3, Niño 1+2 y Niño 3.4 se establece una gran correlación en ese orden, lo que indicaría que hay una relación entre lo que

sucede en el Pacífico Oriental y Central (temperatura superficial) y la disponibilidad de hembras ovadas.

### 3.3.2. Correlaciones de las Series

Los resultados de las correlaciones (Tabla V) de las series en forma normal establecen mejores resultados sin adelanto (con el Niño 3 se obtuvo la mayor correlación) a excepción del Niño 1+2 en que se mejoró al adelantar la serie. Con respecto a las correlaciones en anomalías se observan las más altas correlaciones sin adelantar la serie siendo la máxima correlación con el Niño 1+2.

**Tabla V.-** Coeficientes de Correlación (r), de las Series redes con las regiones Niño 1+2, Niño 3, Niño 4 y Niño 3.4

<b>Normal</b>	<b>Sin adelanto</b>	<b>Redes adelantada un mes</b>
Niño 1+2	0.4195	0.4497
Niño 3	0.5180	0.4622
Niño 4	0.2399	0.1694
Niño 3.4	0.3851	0.3015
<b>Anomalías</b>		
Niño 1+2	0.4547	0.4130
Niño 3	0.3965	0.3396
Niño 4	0.2796	0.2449
Niño 3.4	0.3325	0.2901

### 3.3.3. Correlaciones por Mes

La figura 15 muestra las correlaciones de la serie redes con los índices oceánicos, en donde se puede notar que en los meses de abril, mayo y junio existen altísimas correlaciones, siendo el mes de Abril el de las más altas. En los meses de Diciembre, Enero y Febrero existen las correlaciones más bajas, exceptuando el mes de Febrero para el Niño 1+2 en donde la correlación es alta. Se podría decir que las altas correlaciones suceden en la transición de la época lluviosa a seca y las bajas correlaciones en la transición de la época seca a lluviosa.

En la tabla VI se muestran las propiedades estadísticas de los índices oceánicos.

**Tabla VI.-** Propiedades Estadísticas de los Índices Oceánicos

<b>Propiedad Estadística</b>	<b>Niño 1+2</b>	<b>Niño 3</b>	<b>Niño 4</b>	<b>Niño 3.4</b>
	<b>Venta (unidades)</b>	<b>Temp. (°C)</b>	<b>Temp. (°C)</b>	<b>Temp. (°C)</b>
$\mu_{x(t)}$	22.89	25.90	28.74	27.89
$\sigma_{x(t)}$	2.34	1.31	0.69	0.88
<b>Máximo</b>	27.67	28.74	29.78	29.29
<b>Mínimo</b>	19.01	23.05	26.53	25.52

### **3.4. MODELOS DE REGRESIÓN**

Se realizaron 20 modelos de predicción utilizando regresión simple y 10 modelos usando regresión múltiple.

De los 20 modelos, 5 modelos se hicieron escogiendo como variable dependiente al valor real (In Situ) de temperatura superficial del mar correspondiente a la estación Manta y como variable independiente a la temperatura superficial del mar correspondiente la latitud



00°30'S, longitud 81°30'O, se tomó esta latitud porque se obtuvo la mayor correlación con Manta descartándose las demás series satélite.

Otros 5 modelos se realizaron utilizando como variable dependiente a los valores de anomalías de temperatura superficial de la estación Manta y como variable independiente a los datos de anomalías de temperatura superficial de la latitud 00°30'S sumándole el promedio mensual de la estación Manta para obtener temperatura superficial, como en el caso anterior la latitud se la escogió por ser la de mayor correlación con las anomalías de Manta.

Luego se hicieron 5 modelos utilizando como variable dependiente a la venta de unidades de redes y como variable independiente a la temperatura superficial del mar correspondiente a la latitud 02°30'S, longitud 81°30'O, por encontrarse esta más cerca a la zona de la Península de Santa Elena.

En los últimos 5 modelos de regresión simple se usó los valores de anomalías de unidades de redes como variable dependiente y los datos de anomalías de temperatura superficial como variable independiente agregando los valores de la media de unidades de redes para obtener unidades de redes vendidas.

De los modelos de regresión múltiple, en los primeros 5 modelos se utilizó como variable dependiente a la venta de unidades de redes y como variables independientes al Niño 1+2 ( $x_1$ ) y Niño 3 ( $x_2$ ) por ser estos índices oceánicos los que más altas correlaciones obtuvieron con la serie redes.

En los 5 últimos modelos de regresión múltiple, la variable independiente fue las anomalías de unidades de redes y las variables independientes las anomalías del Niño 1+2 ( $x_1$ ) y Niño 3 ( $x_2$ ), a ello se sumo el promedio de unidades de redes y así obtener unidades de redes vendidas

Los 10 primeros modelos se realizaron de tal manera que se obtenga una predicción de la temperatura superficial del mar con 0, 1, 2, 3 y 6 meses de anticipación, utilizando para ello como variables dependientes e independientes lo descrito anteriormente.

En los 20 restantes se obtiene la predicción de venta de unidades de redes con 0, 1, 2, 3 y 6 meses de anticipación, usando las correspondientes variables independientes y dependientes.

Debido a alta correlación por mes de las serie Redes con las series 02°30'S, Niño 1+2 y Niño 3, Niño 4 y Niño 3.4 en los meses de Abril y Mayo, se elaboraron 10 modelos de regresión simple, en donde la variable dependiente era la venta de unidades de redes y las variables independientes la serie satelital 02°30'S y los índices oceánicos, cada uno de ellos relacionados con la serie redes; y un modelo de regresión múltiple en que la variable dependiente era la misma (redes) y la variables independientes la región del Niño 3.4 ( $x_1$ ) y la serie 02°30'S ( $x_2$ ) por ser estas las de más alta correlación.

Los modelos de predicción que se obtuvieron se muestran en las Tablas VII, VIII, IX y X.

**Tabla VII.- Modelos de Predicción de Temperatura Superficial (Regresión Simple)**

Mod.	Meses de ant.	Temperatura Superficial		Temperatura Superficial (Anomalías)	
		$\hat{y}_i =$	$R^2$	$\hat{y}_i =$	$R^2$
1	0	$0,84x_i + 4,79$	0,71	$0,77x_i + (-0,0008) + \text{Manta (prom}_i)$	0,60
2	1	$0,77x_i + 6,58$	0,60	$0,72x_i + (0,0021) + \text{Manta (prom}_i)$	0,52
3	2	$0,62x_i + 10,19$	0,39	$0,66x_i + 0,0064 + \text{Manta (prom}_i)$	0,44
4	3	$0,46x_i + 14,36$	0,21	$0,62x_i + 0,0162 + \text{Manta (prom}_i)$	0,39
5	6	$-0,09x_i + 28,02$	0,01	$0,44x_i + 0,0296 + \text{Manta (prom}_i)$	0,20

**Tabla VIII.-** Modelos de Predicción de Unidades de Redes (Regresión Simple)

Mod.	Meses de ant.	Unidades de Redes		Unidades de Redes (Anomalías)	
		$\hat{y}_i =$	$R^2$	$\hat{y}_i =$	$R^2$
1	0	$48,63 x_i - 816,68$	0,18	$72,49 x_i - 1,2E-14 + \text{Redes (prom}_i)$	0,13
2	1	$49,19x_i - 831,80$	0,19	$60,22x_i - 1,07 + \text{Redes (prom}_i)$	0,09
3	2	$30,02 x_i - 403,61$	0,08	$30,87 x_i - 5,31 + \text{Redes (prom}_i)$	0,02
4	3	$10,12 x_i + 37,73$	0,01	$3,13 x_i - 13,46 + \text{Redes (prom}_i)$	3E-04
5	6	$-32,01 x_i + 992,64$	0,11	$-2,93 x_i - 17,23 + \text{Redes (prom}_i)$	3E-04

**Tabla IX.-** Modelos de Predicción de Unidades de Redes (Regresión Múltiple)

Mod.	Meses de ant.	Unidades de Redes		Unidades de Redes (Anomalías)	
		$\hat{y}_i =$	$R^2$	$\hat{y}_i =$	$R^2$
1	0	$2,19 x_{1i} + 82,77 x_{2i} - 1909,31$	0,27	$96,54 x_{1i} + 16,72 x_{2i} + 5E-15 + \text{Redes (prom}_i)$	0,21
2	1	$20,88 x_{1i} + 47,38 x_{2i} - 1424,15$	0,23	$99,84 x_{1i} + 1,19 x_{2i} - 2,03 + \text{Redes (prom}_i)$	0,17
3	2	$30,96 x_{1i} + 0,69 x_{2i} - 451,96$	0,12	$57,36 x_{1i} + 11,49 x_{2i} - 6,40 + \text{Redes (prom}_i)$	0,08
4	3	$29,56 x_{1i} - 38,69 x_{2i} - 591,89$	0,05	$25,43 x_{1i} + 19,15 x_{2i} - 14,13 + \text{Redes (prom}_i)$	0,04
5	6	$-46,50 x_{1i} + 44,39 x_{2i} - 185,87$	0,15	$-59,69 x_{1i} + 75,15 x_{2i} - 18,28 + \text{Redes (prom}_i)$	0,05

**Tabla X.-** Modelos de Predicción de Unidades de Redes (Regresión Simple y Múltiple)

Abril	Mayo
-------	------

Variables dependientes	$\hat{y}_i =$	$R^2$	$\hat{y}_i =$	$R^2$
Niño 1+2	$131,92 x_i - 3011,27$	0,65	$195,00 x_i - 4292,01$	0,70
Niño 3	$231,24 x_i - 6026,00$	0,80	$166,70 x_i - 4123,23$	0,38
Niño 4	$301,30 x_i - 8301,67$	0,71	$390,04 x_i - 10877,60$	0,42
Niño 3.4	$278,65 x_i - 7538,69$	0,81	$276,49 x_i - 7443,57$	0,46
02°30'S	$93,99x_i - 1904,10$	0,74	$179,64x_i - 3830,37$	0,74
Niño 3.4-02°30'S	$182,1 x_{1i} + 50,1 x_{2i} - 6008,3$	0,93	$-6,8x_{1i} + 182,4x_{2i} - 3702,2$	0,74

### 3.4.1. La Prueba F y la Prueba t

Para comprobar la validez de los modelos se realizó la prueba F, se tomó como base la tabla de puntos porcentuales de la distribución F con un grado de libertad para el numerador ( $v_1$ ) e infinitos grados de libertad para el denominador ( $v_2$ ) para la predicción de la temperatura superficial del mar y venta de unidades de redes en que se utilizó las series completas y regresión simple, siendo F entonces 6,63 y  $v_1 = 2$  y  $v_2 = \alpha$  para la predicción de venta de unidades de redes en que se utilizó las series completas y la regresión múltiple, siendo F entonces 4,61. Para las predicciones de unidades de redes en los meses de Abril y Mayo en que se utilizó regresión simple se usó  $v_1 = 1$  y  $v_2 = 7$ , siendo  $F = 12,25$  y en los regresión, múltiple  $v_1 = 2$  y  $v_2 = 6$ , siendo  $F = 10,92$  con un 99% de significancia para todos los casos.

De la misma forma para tener una mayor convalidación estadística se realizó la prueba de hipótesis t-student, para determinar si los parámetros particulares (temperatura superficial del mar de las latitudes 00°30'S y 02°30'S, longitud 81°30'O e índices oceánicos Niño 1+2 y Niño 3) son útiles en la estimación del valor de temperatura superficial y venta de unidades de redes, se tomó como datos de referencias al valor crítico t, cola única (2,576) correspondiente a infinitos grados de libertad en los casos en que se usó las series completas. En los meses de Abril y Mayo para la predicción de unidades de redes en que se usó regresión simple se usó  $t = 3,499$  correspondiente a 7 grados de libertad y en el de regresión

múltiple  $t = 3,707$  correspondiente a 6 grados de libertad, con una significancia del 99,5% para todos los casos. Se obtuvo los resultados mostrados en las Tablas XI, XII, XIII y XIV.

**Tabla XI.-** Pruebas F y t-student para los Modelos de Predicción de Temperatura Superficial (Regresión Simple)

Mod.	Gr. de lib.	Temperatura Superficial		Temperatura Superficial (Anomalías)	
		Valor t	Valor F	Valor t	Valor F
1	162	20,00	399,77	15,34	238,64
2	161	15,41	237,12	13,19	176,4
3	160	10,16	103,37	11,13	123,3
4	159	6,50	42,08	10,11	102,3
5	156	1,16	1,37	6,21	38,55

Los 4 primeros modelos de temperatura superficial cumplen con las pruebas F y t-student, por lo tanto  $\hat{Y}_i$  es una buena aproximación lineal para la mencionada significancia, no así el quinto modelo en que ello no se cumple.

De los modelos de temperatura superficial (Anomalías), los 5 cumplen con la condiciones de las pruebas F y t-student, son entonces buenas aproximaciones lineales.

**Tabla XII.-** Pruebas F y t-student para los Modelos de Predicción de Unidades de Redes (Regresión Simple)

Modelo	Gr. de lib.	Unidades de Redes		Unidades de Redes (Anomalías)	
		Valor t	Valor F	Valor t	Valor F
1	101	4,72	22,30	3,88	15,02
2	100	4,80	23,03	3,13	9,78
3	99	2,83	7,99	1,57	2,46
4	98	1,02	1,05	0,17	0,03
5	95	-3,36	-11,27	-0,16	0,02

Los modelos 4 y 5 no cumplen con la condiciones de las pruebas F y t-student, los modelos 1, 2 y 3 si lo cumplen por lo tanto  $\hat{Y}_i$  es una buena aproximación lineal.

En los modelos de Predicción de Unidades de Redes en Anomalías los modelos 1 y 2 cumplen con la condiciones de las pruebas F y t-student señaladas anteriormente siendo entonces  $\hat{y}_i$  buena aproximación lineal no así los modelos 3, 4 y 5.

**Tabla XIII.-** Pruebas F y t-student para los Modelos de Predicción de Unidades de Redes (Regresión Múltiple)

Mod.	Gr. de lib.	Unidades de Redes			Unidades de Redes (Anomalías)		
		Val. t(x <sub>1</sub> )	Val. t(x <sub>2</sub> )	Val. F	Val. t(x <sub>1</sub> )	Val. t(x <sub>2</sub> )	Val. F
1	100	2,63	3,56	18,35	3,01	2,72	13,18
2	99	2,58	2,71	15,01	2,89	2,59	10,18
3	98	2,24	0,03	6,70	1,42	0,31	4,36
4	97	2,29	-1,66	2,64	0,67	0,54	2,07
5	94	-2,16	1,98	8,06	-1,56	2,13	2,31

Los primeros tres modelos y el quinto de venta de unidades de redes cumplen con las condiciones de las pruebas F, los parámetros particulares (Niño 1+2 y Niño 3) cumplen con la prueba t-student en los modelos 1 y 2 siendo entonces estos modelos buenas aproximaciones lineales ya que cumplen ambas pruebas.

En la venta de unidades de redes (anomalías) los dos primeros modelos cumplen con la prueba F, así mismo los parámetros particulares (Niño 1+2 y Niño 3) cumplen con la prueba t-student siendo por ello buenas aproximaciones lineales.

**Tabla XIV.-** Pruebas F y t-student para los Modelos de Predicción de Unidades de Redes

Variables dependientes	Gr. de lib.	Abril			Mayo		
		Val. t(x <sub>1</sub> )	Val. t(x <sub>2</sub> )	Val. F	Val. t(x <sub>1</sub> )	Val. t(x <sub>2</sub> )	Val. F
Niño 1+2	7	3.63	-----	13.21	4.07	-----	16.60
Niño 3	7	5.29	-----	28.04	2.08	-----	4.31
Niño 4	7	4.11	-----	16.91	2.27	-----	5.16
Niño 3.4	7	5.52	-----	30.47	2.43	-----	5.89
02°30'S	7	4.46	-----	19.90	4.48	-----	20.10
Niño 3.4-02°30'S	6	3.88	3.72	37.49	0.05	2.57	8.62

Todos los modelos cumplen con la prueba F y t-student en el mes de Abril, en el mes de Mayo cumplen solamente los modelos con la variable independiente de la región Niño 1+2 y la latitud 02°30'S, siendo estos entonces buenas aproximaciones lineales.

Tanto en la prueba F como en la t-student, los mejores modelos corresponden a la mayor diferencia existente entre el valor F o t y el valor F o t obtenido de las tablas estadísticas, porque entre más sustancial sea la diferencia, la relación existente entre las series tendría mayores probabilidades de que no sea casual.

Se elaboraron gráficas de series de tiempo comparando Manta con los mejores modelos, tanto de temperatura superficial (Figura 16) como de anomalías (Figura 17), de venta de unidades de redes correspondiente a los meses de Abril y Mayo con Niño 1+2 y Niño 3 (Figura 18) con Niño 4 y Niño 3.4 (Figura 19) con 02°30'S (Figura 20) y Niño 3.4-02°30'S (Figura 21), un resumen de los mismos se muestra a continuación.

**Tabla XV.-** Mejores Modelos de Predicción de Temperatura Superficial (Regresión Simple)

Mod.	Meses de ant.	Temperatura Superficial		Temperatura Superficial (Anomalías)	
		$\hat{y}_i =$	$R^2$	$\hat{y}_i =$	$R^2$
1	0	$0,84x_i + 4,79$	0,71	$0,77x_i + (-0,0008) + \text{Manta (prom}_i)$	0,60

2	1	$0,77x_i + 6,58$	0,60	$0,72x_i + (0,0021) + \text{Manta (prom}_i)$	0,52
---	---	------------------	------	--	------

**Tabla XVI.-** Mejores Modelos de Predicción de Unidades de Redes (Regresión Simple y Múltiple)

Variables dependientes	$\hat{y}_i =$	$R^2$	$\hat{y}_i =$	$R^2$
Niño 1+2	$131,92 x_i - 3011,27$	0,65	$195,00 x_i - 4292,01$	0,70
Niño 3	$231,24 x_i - 6026,00$	0,80		
Niño 4	$301,30 x_i - 8301,67$	0,71		
Niño 3.4	$278,65 x_i - 7538,69$	0,81		
02°30'S	$93,99x_i - 1904,10$	0,74	$179,64x_i - 3830,37$	0,74
Niño 3.4-02°30'S	$182,1 x_{1i} + 50,1 x_{2i} - 6008,3$	0,93	$-6,8x_{1i} + 182,4x_{2i} - 3702,2$	0,74



## CONCLUSIONES

La alta significancia de los modelos, considerando que la ubicación geográfica de los datos provenientes del satélite (longitud 81°30' oeste, latitud 00°30', 01°30' y 02°30' sur) corresponde a una posición oceánica, y los datos provenientes de la estación Manta (longitud 80°44' oeste, latitud 00°56' sur) a una posición más costera, se deberían a la alta inercia térmica que existe en el océano.

Se establece una gran relación entre el Pacífico Ecuatorial Oriental más oceánico (Niño 3) y la venta de redes camaroneras y por lo tanto la disponibilidad de hembras ovadas.

Se establece una mejor correlación entre la venta de unidades de redes y los índices oceánicos Niño 1+2 y Niño 3 que con la temperatura superficial del mar correspondiente a la latitud 02°30'S, longitud 81°30'O.

En los meses de Abril y Mayo se estableció la mayor correlación entre la venta de unidades de redes y la temperatura superficial del mar correspondiente a la latitud 02°30'S, longitud 81°30'O y los índices oceánicos Niño 1+2, Niño 3, Niño 4 y Niño 3.4.

La mayor correlación entre la venta de redes adelantada un mes y la temperatura superficial del mar correspondiente a la latitud 02°30'S, longitud 81°30'O, como con el índice oceánico Niño 1+2, podría deberse a un periodo de adaptabilidad de las camaronas a la temperatura del mar o tal vez a que los pescadores no se encuentran preparados para la pesca de las camaronas cuando el agua esta "caliente" por lo que todavía no compran sus redes, así mismo cuando el agua deja de ser "caliente" siguen comprando aún sus redes.

Debido a que no hay la disponibilidad de datos In Situ, ya sea por falta de mediciones o por su difícil obtención, para poder realizar cualquier trabajo de investigación sobre todo en la parte oceanográfica, una alternativa valedera serían los datos provenientes del satélite, por ser accesibles a cualquier persona y porque existe una resolución de aquellos, de 1° latitud como de longitud, con lo que aportaría con series de tiempo en todo el océano.

La ventaja del análisis de regresión de predicción de temperatura superficial que se ha realizado es poder utilizar los datos provenientes del satélite y los In Situ (valores que se ajustan mejor a las condiciones locales), una vez que se ha realizado el modelo, los últimos ya no son necesarios, ya que la variable independiente son los valores provenientes del satélite, lo cual es de gran importancia por los argumentos presentados anteriormente.

El modelo de estimación lineal de predicción de unidades de redes es de mucha importancia ya que una vez obtenido las unidades, se podría estimar además, la cantidad de hembras ovadas (grávida) que se capturaran y con ello la disponibilidad de larvas salvajes.

Sería beneficioso obtener una buena base de datos de la captura hembras ovadas de las diferentes zonas en donde se realiza esta actividad para de esta manera establecer un mejor modelo de predictibilidad.

Queda la pauta para realizar nuevos modelos de regresión lineal en donde podrán utilizarse además de valores de temperatura superficial del mar, valores de temperatura del

aire, vientos, precipitaciones, intensidad de corrientes, ubicación de la ZCIT, entre los principales.

## **BIBLIOGRAFÍA**

### a) Libro

1. Scheaffer R., McClave J., Probabilidad y Estadística para Ingeniería, Iberoamérica, 1993, pp. 357-464.

### b) Artículo de una publicación periódica

1. Brill R., A review of temperature and oxygen tolerance studies of tunas pertinent to fisheries oceanography, movement models and stock assessments, Fisheries Oceanography, USA, 1994, 3:3, pp. 204-216.
2. Cane M., Eshel G. & Buckland R., Forecasting Zimbabwean maize yield using eastern equatorial Pacific sea surface temperature, Letters To Nature, USA, 1993, 1:1, pp. 12.
3. Comisión Oceanográfica Intergubernamental, colección 6, Perspectiva de la oceanografía, UNESCO, París, 1970, pp. 21-42.
4. Cornejo-Rodríguez, M. H., E. Blacio, R. Guartatanga, L. Schwarz, M. A. Bonilla-Coello y A. Milstein . Variación anual de larvas y postlarvas de peces en una zona de rompiente de playa arenosa

(Guayas-Ecuador). Revista de Acuicultura Tropical, No. 1, Guayaquil, 1993, pp. 17-19.

5. Cornejo - Rodríguez, M. H., E. Blacio, R. Guartatanga, y L. Schwartz, Relación entre la captura de larvas de peces y de camarones, Revista de Acuicultura Tropical, No. 1, Cenaim, Guayaquil, 1993, pp. 12-14.

Moreano, H. (1983). Interacción océano-atmósfera sobre la zona costera del Ecuador, Acta Oceanográfica del Pacífico (INOCAR), Guayaquil - Ecuador, Vol. 2(1), pp. 1-11.

6. Moreano, H., E. Zambrano, R. de Suescum, y N. Paredes. El Niño 1982-1983, su formación, su desarrollo y sus manifestaciones en aguas ecuatorianas, Acta Oceanográfica del Pacífico (INOCAR). Guayaquil - Ecuador, 1986, 3(1), pp. 1-23.

7. Okuda Taiko, R. Trejos de Suescum, M.Valencia, A. Rodríguez. Variación Estacional de La Posición del Frente Ecuatorial y su Efecto sobre la Fertilidad de las Aguas Ecuatorianas, Acta Oceanográfica del Pacífico (INOCAR), Guayaquil - Ecuador, 1983, 2(1), pp. 53-84.

P

8. olovina J., T. Gary, Mitchum, Graham E., Mitchell, Craig P., Demartini e. and Flint H., Physical and biological consequences of a

climate event in the central North Pacific, Fisheries Oceanography, USA, 1994, 3:1, pp. 15-24.

9. Shumacher J. D., P. J. Stabeno, Ubiquitous eddies of the eastern Bering Sea and their coincidence with concentrations of larval pollock, Fisheries Oceanography, USA, 1994, 3:3, pp. 182-190.

10. Zambrano E., El Niño, Acta Oceanográfica del Pacífico (INOCAR), Guayaquil - Ecuador, 1.996, Vol. 8(1), pp. 109-114.

c) Artículo de un congreso

1. Cornejo - Rodríguez, M. H. Posible influencia de la captura de post-larvas de camarón sobre la abundancia de larvas y postlarvas de peces: fase I, I Congreso Nacional de Acuicultura, Cenaim, Guayaquil, 1992, pp. 1-5.

d) Artículo de un foro

1. ESPOL, Foro-Taller: El desarrollo en el Ecuador de la investigación aplicada en el área de cambios climáticos, José Luis Santos, Guayaquil, 1.986, pp. 12-19.

e) Tesis

1. Garcés J., "Pronóstico de la temperatura superficial del mar y su aplicación a los recursos costeros", Tesis de Grado (ESPOL), 1.997.

2. Silva G., Análisis de la variabilidad climática de la zona costera ecuatoriana, utilizando componentes principales, Tesis de Grado (ESPOL), 1.992, pp. 15-29.