



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN  
INGENIERÍA**

**ANÁLISIS DE HURACANES EN EL OCÉANO PACÍFICO**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA**

ELÉCTRICA – INSTRUMENTACIÓN

P R E S E N T A:

**MARIO E. CARBONÓ DE LA ROSA**

TUTOR:

**DR. VICTOR VELASCO HERRERA**

2012

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: DRA. LUCIA MEDINA GÓMEZ

Secretario: DR. FRANCISCO GARCIA HUGALDE

Vocal: DR. VICTOR VELASCO HERREA

1<sup>er</sup>. Suplente: DR. JORGE PRADO MOLINA

2<sup>do</sup>. Suplente: DR. FERNANDO ARÁMBULA COSÍO

Lugar donde se realizó la tesis:

Instituto de GEOFÍSICA de la Universidad Nacional Autónoma de México.

**TUTOR DE TESIS:**

**Dr. VICTOR VELASCO HERRERA**

---

**FIRMA**

## Agradecimientos

Primero que todo le doy las gracias a dios por permitirme cumplir con esta meta, le doy gracias a mi familia por el apoyo incondicional que tuvieron conmigo, especialmente a mi papa, a mis tías y mi mama. Que siempre me apoyaron, a mi primo Alberto de la rosa por estar siempre pendiente.

Especialmente quiero dedicarle este logro a mi hijo Santiago Carbonó y mis seres queridos que desde el cielo siempre me ayudan, esto es para ti Peye, y abuelita Edel que aunque no estén ahora conmigo siempre las llevo en mi corazón.

Además quiero darles las gracias al Dr. Víctor Velasco y a la Dra. Graciela Velasco por toda la ayuda que me brindaron, de igual forma agradecer a la Universidad Nacional Autónoma de México y al Conacyt por todo el apoyo recibido cvu No. 411246.

## Resumen

Los *Ciclones Tropicales* son fenómenos climáticos que siempre han influido en la vida de los seres humanos, ya que desde tiempo atrás son la causa de muchas catástrofes en ciudades costeras alrededor del mundo, causando inundaciones e innumerables daños estructurales. Por estas razones a lo largo de la historia se ha tenido interés en determinar las causas que se encuentran detrás de estos fenómenos, con el fin de minimizar las pérdidas materiales y humanas que se presentan cuando un huracán de categoría alta se aproxima hacia tierra firme.

Con la realización de este trabajo de investigación, se busca analizar las variables que intervienen en la formación de estos fenómenos hidrometeorológicos, así como identificar las zonas del océano pacífico donde se dan las condiciones ambientales necesarias para su formación. Para este fin, se utilizó la Transformada Wavelet, la cual consiste en la utilización de una función matemática que por medio de dos procesos denominados escalamiento y translación, forma unas bases que permiten representar señales y se tiene la posibilidad de analizar eficientemente señales no estacionarias.

Adicionalmente se aplicó la función de densidad de probabilidad, para determinar la velocidad del viento más probable, en las diferentes categorías de la escala Saffir- Simpson. Finalmente para observar la distribución sobre el océano pacífico de los huracanes, que se encuentran registrados en las bases de datos analizadas, se utilizó una aplicación de Mapas de *Matlab*®.

CONTENIDO	PÁG.
Capítulo 1 Introducción.....	10
1.1 Planteamiento del Problema.....	10
1.2 Justificación.....	10
1.3 Objetivos.....	11
1.4 Metodología.....	12
1.4.1 Desarrollo de la Metodología del Objetivo 1.....	12
1.4.2 Desarrollo de la Metodología del Objetivo 2.....	12
1.4.3 Desarrollo de la Metodología del Objetivo 3 y 4.....	13
1.5 Bases de Datos.....	14
 Capítulo 2 Huracanes.....	 16
2.1 Introducción a los Huracanes.....	16
2.2 Formación.....	17
2.3 Estructura.....	18
2.3.1 El Ojo.....	19
2.3.2 Pared del Ojo.....	19
2.3.3 Bandas de Lluvia.....	20
2.4 Evolución. ....	20
2.5 Escala de Medición Saffir-Simpson.....	21
2.6 Clasificación.....	22
 Capítulo 3 Análisis Wavelet.....	 24
3.1 Introducción.....	24
3.2 Transformada Wavelet Continua.....	24
3.3 Funciones Wavelet Madre.....	25
3.4 Transformada Wavelet Cruzada.....	27
 Capítulo 4 Análisis de Datos.....	 28
4.1 Introducción.....	28
4.2 Zonas de Distribución de los Fenómenos Climáticos Sobre el Océano Pacífico.....	28
4.3 Wavelets Cruzadas Entre el Número de Huracanes Ocurridos en el Océano Pacífico y la velocidad Correspondiente y el Valor de Velocidad Correspondiente.....	41
4.4 Wavelets Cruzado entre la Temperatura Superficial Oceánica (SST) del Pacífico Este y el Número de Huracanes Ocurridos	

en Esta Zona.....	46
4.5 Aplicación de Función de Densidad de Probabilidad (PDF), y de la Función de Distribución Acumulativa (CDF) de los Valores de Velocidades del Viento de los Huracanes del Océano Pacífico.....	54
4.6 Análisis Wavelet Cruzado entre el Niño Oscilación Sur (ENSO) y el Número de Huracanes Ocurridos en el Todo el Océano Pacífico.....	60
Capítulo 5 Resultados y Conclusiones.....	66
5.1 Resultados.....	66
5.2 Conclusiones.....	67
Referencias.....	69

LISTA DE FIGURAS	PÁG.
Figura 1. Imagen del Huracán Katrina.....	16
Figura 2. Zonas de Formación de Huracanes.....	17
Figura 3. Estructura de un Huracán.....	19
Figura 4. Estructura Física del Huracán Mitch.....	20
Figura 5. Imagen de la Escala de Clasificación de Huracanes Saffir-Simpson.....	22
Figura 6. . Composición de una gráfica Wavelet.....	24
Figura 7. Wavelet Mexican Hat .....	26
Figura 8. Wavelet Morlet .....	27
Figura 9. Corrientes del Océano Pacífico.....	30
Figura 10. Distribución de las <i>Depresiones Tropicales</i> Sobre el Océano Pacífico.....	32
Figura 11. Distribución de las <i>Tormentas Tropicales</i> Sobre el Océano Pacífico.....	34
Figura 12. Distribución de los <i>Huracanes Categoría</i> <i>Uno</i> Sobre el Océano Pacífico.....	35
Figura 13. Distribución de los <i>Huracanes Categoría</i> <i>Dos</i> Sobre el Océano Pacífico.....	37
Figura 14. Distribución de los <i>Huracanes Categoría</i> <i>Tres</i> Sobre el Océano Pacífico.....	38
Figura 15. Distribución de los <i>Huracanes Categoría</i> <i>Cuatro</i> Sobre el Océano Pacífico.....	40
Figura 16. Distribución de los <i>Huracanes Categoría</i> <i>Cinco</i> Sobre el Océano Pacífico.....	41

Figura 17. Wavelet Entre el Número de <i>Huracanes</i> <i>Categoría Uno</i> y Velocidades Asociadas.....	43
Figura 18. Wavelet Entre el Número de <i>Huracanes</i> <i>Categoría Dos</i> y Velocidades Asociadas.....	43
Figura 19. Wavelet Entre el Número de <i>Huracanes</i> <i>Categoría Tres</i> y Velocidades Asociadas.....	44
Figura 20. Wavelet Entre el Número de <i>Huracanes</i> <i>Categoría Cuatro</i> y Velocidades Asociadas.....	45
Figura 21. Wavelet Entre el Número de <i>Huracanes</i> <i>Categoría Cinco</i> y Velocidades Asociadas.....	46
Figura 22. Datos de Temperatura Superficial del Océano Pacífico (SST).....	47
Figura 23. Transformada Wavelet entre la (SST) y los <i>Huracanes Categoría Uno</i> del Pacífico Este.....	48
Figura 24. Datos de Temperatura Superficial del Océano Pacífico (SST).....	49
Figura 25. Transformada Wavelet entre la (SST) y los <i>Huracanes Categoría Dos</i> del Pacífico Este.....	49
Figura 26. Datos de Temperatura Superficial del Océano Pacífico (SST).....	50
Figura 27. Transformada Wavelet entre la (SST) y los <i>Huracanes Categoría Tres</i> del Pacífico Este.....	51
Figura 28. Datos de Temperatura Superficial del Océano Pacífico (SST).....	52
Figura 29. Transformada Wavelet entre la (SST) y los <i>Huracanes Categoría Cuatro</i> del Pacífico Este.....	53
Figura 30. Datos de Temperatura Superficial del Océano Pacífico (SST).....	53



Figura 31. Transformada Wavelet entre la (SST) y los <i>Huracanes Categoría Cinco</i> del Pacífico Este.....	54
Figura 32. PDF y CDF de la Velocidad de los Huracanes Categoría Uno .....	55
Figura 33. PDF y CDF de la Velocidad de los Huracanes Categoría Dos .....	56
Figura 34. PDF y CDF de la Velocidad de los Huracanes Categoría Tres .....	57
Figura 35. PDF y CDF de la Velocidad de los Huracanes Categoría Cuatro .....	58
Figura 36. PDF y CDF de la Velocidad de los Huracanes Categoría Cinco .....	59
Figura 37. PDF y CDF del ENSO.....	60
Figura 38. CWT ( <i>Transformada Wavelet Continua</i> ) del ENSO.....	61
Figura 39. XWT Entre el ENSO y el Número de Huracanes Categoría Uno.....	62
Figura 40. XWT Entre el ENSO y el Número de Huracanes Categoría Dos.....	63
Figura 41. XWT Entre el ENSO y el Número de Huracanes Categoría Tres.....	64
Figura 42. XWT Entre el ENSO y el Número de Huracanes Categoría Cuatro.....	65
Figura 43. XWT Entre el ENSO y el Número de Huracanes Categoría Cinco.....	66

# CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Planteamiento del Problema

El huracán es el más severo de los fenómenos meteorológicos conocidos de los ciclones tropicales. Estos son sistemas de baja presión con actividad lluviosa y eléctrica muy intensa. Un huracán produce dos tipos de efectos desde el punto de vista técnico:

1. El efecto directo es cuando una región específica es afectada por vientos, lluvia y marejada generados por el huracán.
2. El efecto indirecto, incluye únicamente uno o dos de los anteriores efectos, este efecto indirecto se conoce comúnmente como “coletazo” del huracán.

Los ciclones tropicales son importantes en la naturaleza puesto que:

- pueden ayudar a reducir los efectos de una sequía.
- Además sirven como transporte del calor de las zonas tropicales del océano hacia latitudes más templadas.

Lo que los hace un importante mecanismo de circulación atmosférica, puesto que permite mantener relativamente estable y cálida la temperatura terrestre [NOAA, 1987].

## 1.2 Justificación

La realización de este trabajo de tesis, fue analizar las variables que intervienen en la formación de los fenómenos hidrometeorológicos antes mencionados, desde el punto de vista de la ingeniería eléctrica, aplicando un procesamiento de datos para:

- Identificar las zonas del océano pacífico donde se dan las condiciones ambientales necesarias para su formación. Para este fin, se utilizó la Transformada Wavelet, la cual consiste en la utilización de una función matemática que por medio de dos procesos denominados escalamiento y translación, forma unas

bases que permiten representar señales y analizar eficientemente señales no estacionarias.

- determinar la velocidad del viento más probable, en las diferentes categorías de la escala Saffir- Simpson, a partir de la aplicación de la Función de Densidad de Probabilidad, y Finalmente observar la distribución sobre el océano pacífico de los huracanes, que se encuentran registrados en las bases de datos analizadas, utilizando para esta meta la aplicación de Mapas de *Matlab*®.

Todos estos procedimientos y herramientas de procesamiento, se aplicaron y utilizaron, con la intención de obtener la mayor cantidad de información posible, que permitiera entender mejor a estos fenómenos climáticos, que desde hace muchos años atrás el ser humano ha buscado predecir y controlar.

Los objetivos y la metodología del proyecto de investigación, así como la obtención y utilización de las bases de datos para el desarrollo de este estudio, se describen.

### 1.3 Objetivos

Los objetivos de desarrollo de este proyecto se divide en cuatro:

1.-Identificación de las zonas en el océano pacífico donde se forman los huracanes de las diferentes categorías, también las tormentas y depresiones tropicales.

Este objetivo pretende determinar las zonas más propensas para la formación de huracanes de diferentes categorías en el océano pacífico, esto es importante porque los países que tienen ciudades cerca de estas zonas, pueden prepararse mejor, también sirve para que sectores de la economía como el pesquero y minero, puedan tomar las precauciones necesarias para evitar pérdidas humanas y materiales.

2.-Determinación de las velocidades naturales de los vientos más probables para cada categoría de huracanes.

En esta etapa del proyecto se determinó la velocidad más probable del viento, dentro del rango de velocidades que tiene cada categoría según la escala de medición Saffir-Simpson, además se calculó el valor medio de la velocidad de cada categoría. Estos datos resultan importantes dentro de la investigación, puesto que nos ayudan a entender mejor el comportamiento de estos fenómenos climáticos.

3.-Hallar las periodicidades naturales para cada categoría de huracanes en la escala Saffir- Simpson.

4.-Establecer la relación que existe entre El Niño Oscilación Sur (ENSO), y la Temperatura Superficial Oceánica, con la formación de los huracanes en las diferentes categorías de la escala antes mencionada, en la zona este del océano pacífico.

Para el objetivo 3 y 4 se describe aplicación de la transformada wavelet cruzada para determinar las periodicidades naturales de los huracanes en cada categoría y la relación con el fenómeno de El Niño Oscilación Sur (ENSO) y con la Temperatura Superficial Oceánica.

## 1.4 Metodología

### 1.4.1 Desarrollo de la metodología del objetivo 1.

Para cumplir este objetivo se realizó inicialmente la clasificación de las coordenadas geográficas de cada categoría de la escala Saffir-Simpson. Esta clasificación se realizó mediante el criterio de la velocidad del viento, que tiene cada categoría.

De esta manera, ya con los huracanes clasificados se procedió a graficar las coordenadas geográficas con la ayuda de la herramienta Mapas, de *Matlab*®, esto se hizo para cada una de las categorías de huracanes (cinco), así como para las tormentas y depresiones tropicales.

Así como también se graficaron las coordenadas geográficas de todos los eventos climáticos ocurridos en los últimos sesenta y seis años, sobre el mapa del océano pacífico, y de esta forma se identificaron las

zonas en todo este océano, donde más tienden a formarse los huracanes de las diferentes categorías.

#### 1.4.2 Desarrollo de la metodología del objetivo 2

Para lograr este objetivo inicialmente se dividió la base de datos en las cinco categorías de la escala Saffir-Simpson, esto se logró aplicando el mismo criterio de clasificación utilizado en la etapa anterior.

Posteriormente ya teniendo los huracanes clasificados se aplicó a cada categoría la *Función de Densidad de Probabilidad*, y la *Función de Distribución Acumulativa*, de las cuales se obtuvo una gráfica una para categoría, que contenía la información requerida para el cumplimiento de esta etapa del proyecto, de esta manera después del procesamiento y análisis de los datos se determinarían los valores de velocidad del viento más probable y su valor medio, para cada categoría.

#### 1.4.3 Desarrollo de la metodología de los objetivos 3 y 4

Esta sección del proyecto fue dividida en dos partes, para su desarrollo, utilizando el código abierto del trabajo publicado por [Torrence and Compo, (1998)], el código se encuentra en la liga <http://paos.colorado.edu/research/wavelets/>, de igual manera se utilizó la aplicación de la Transformada Wavelet Cruzada del código abierto del trabajo publicado por [Grinsted, Moore and Jevrejeva, (2004)], el código se encuentra en la liga <http://www.pol.ac.uk/home/research/waveletcoherence/>.

Los datos analizados se asumieron como una señal de pulsos cuadrados, realizando el procesamiento de esta señal se identificaron las periodicidades naturales de cada una de las cinco categorías de la escala Saffir-Simpson, y en la segunda sección, se estableció si existía una relación entre el fenómeno de El Niño Oscilación Sur (ENSO), y la Temperatura Superficial Oceánica, con los huracanes ocurridos en los últimos sesenta y seis años en el océano pacífico.

En la primera parte se realizó el procesamiento de una de las bases de datos del proyecto, el fin fue aplicar la Transformada Wavelet Cruzada. Entre la información mensual de los huracanes formados en los últimos sesenta y seis años en todo el océano pacífico, y la velocidad promedio correspondiente a cada huracán.

Obteniendo como resultado las periodicidades más importantes en cada una de las cinco categorías de la escala de medición Saffir-Simpson, estas periodicidades resultan importantes para esta investigación, puesto que brindan información acerca de cada cuanto tiempo se están formando huracanes en el océano pacífico.

En la segunda parte se aplicó la Transformada Wavelet Cruzada entre, la serie de datos de todos los huracanes formados en la zona este del océano pacífico, con los datos de El Niño Oscilación Sur (ENSO), por medio de un algoritmo abierto, del trabajo publicado por [Torrence and Compo, (1998)], se pudo realizar la correlación entre los datos del número de huracanes que se formaron de cada categoría de la escala Saffir-Simpson con los datos del ENSO, ambos en la misma escala de tiempo. De igual manera se realizó la Transformada Wavelet Cruzada entre la serie de datos de los huracanes y la temperatura superficial oceánica.

La información obtenida en esta etapa de la investigación, luego del análisis de los resultados, es muy importante para el proyecto, porque nos permitirá determinar la relación o el vínculo existente, entre los huracanes formados en el océano pacífico en los últimos sesenta y seis años, con los valores de temperatura superficial oceánica, y los datos del ENSO.

## 1.5 Bases de Datos

Las bases de datos utilizadas para este proyecto de investigación, se tomaron de la página de internet del Unisys Weather. Ésta página proporciona acceso a una gran cantidad de información sobre huracanes, incluidas gráficas de trayectorias de los mismos, e información basada en el seguimiento de cada evento climático. La base de datos incluye también: la posición geográfica, latitud y longitud de cada evento climático, velocidad de los vientos sostenidos máximos en nudos, y la presión central en milibares.

La primera base de datos es de los eventos climáticos ocurridos en la zona oeste del océano pacífico y va desde el año 1945 hasta el 2011. La segunda corresponde a la zona este del pacífico, inicia en el año 1949 y va hasta el 2011 y el tercer registro de información tomado como referencia, es la parte sur del pacífico, con un intervalo de tiempo que va desde el año 2000 al 2011.

Las series de datos de *El Niño - Oscilación del sur (ENSO)*, y de la *Temperatura Superficial del Océano (SST)* utilizadas en la investigación, cuenta con información que inicia en el año 1948 y finalizan en el 2011 y fueron tomadas de la página de internet del Earth System Research Laboratory (ESRL), la cual es una división del National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA).

Este trabajo de tesis se desarrollo en cinco capítulos. En el primer capítulo es el planteamiento, justificación, objetivos, metodología e información de las bases da datos analizadas. En el segundo capítulo se da una introducción sobre los huracanes: estructura, forma, clasificación , variables de formación entre otros factores involucrados en su formación. En el tercer capítulo se realiza una presentación de la base teorica utilizada para el análisis de las bases de datos (teoria de wavelets). En el cuatro capítulo se presenta el desarrollo y análisis de las bases de datos, que son la parte medular de esta tesis. El quinto capítulo se presenta los resultados y las conclusiones del trabajo. Como parte final del este trabajo se dan las referencias utilizadas.

# CAPÍTULO 2. HURACANES

## 2.1 Introducción a los huracanes



Fig. 1 Imagen del Huracán Katrina [Imagen Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los EE.UU.].

La palabra huracán deriva del vocablo maya (*hurakan*) que es el nombre del dios creador, que esparció su aliento sobre las caóticas aguas, creando así la tierra. Los huracanes son los fenómenos climáticos más severos de los ciclones tropicales, los cuales se caracteriza por la circulación cerrada de vientos alrededor de un sistema de baja presión y según la escala Saffir-Simpson, inician con velocidades de 119 Km/h para huracanes categoría uno y superan los 250 Km/h en la categoría cinco, un ejemplo de esta categoría fue el huracán Katrina, el cual se aprecia en la figura 1, y que son denominados superhuracanes. Una característica muy particular de estos fenómenos climáticos, es que los que forman en el hemisferio norte poseen una rotación anti horaria, contraria a la rotación de los que se forman en el hemisferio sur.

Los ciclones tropicales extraen su energía por la condensación del aire húmedo de las aguas cálidas y profundas del océano en regiones tropicales, y a medida que avanzan sobre éstas van aumentando su energía y la fuerza de sus vientos. Esta fuerza tiende a debilitarse a medida que se aproxima a tierra o entra en aguas más templadas y menos profundas. Los huracanes suelen provocar fuertes vientos,



grandes olas y lluvias torrenciales que pueden originar inundaciones y deslizamientos de tierra. Aunque el efecto en las poblaciones costeras y en las embarcaciones pueden ser catastróficos. Los ciclones tropicales pueden reducir los efectos de una sequía, además sirven como transporte del calor de las zonas tropicales del océano hacia latitudes más templadas, lo que los hace un importante mecanismo de circulación atmosférica, lo cual permite mantener relativamente estable y cálida la temperatura terrestre [NOAA, 1987].

## 2.2 Formación.

Los huracanes son el resultado de la intensificación de un fenómeno climático denominado "*Ciclón Tropical*", término científico que describe una circulación meteorológica cerrada sobre aguas tropicales. Estos sistemas frontales a gran escala y de baja presión, ocurren en todo el mundo sobre zonas que se conocen como "*Cuencas Tropicales de Ciclones*", tal y como se muestra en la figura 2.

En donde las zonas de color naranja indican las regiones del océano con más presencia de huracanes y las flechas blancas indican el movimiento que generalmente realizan.

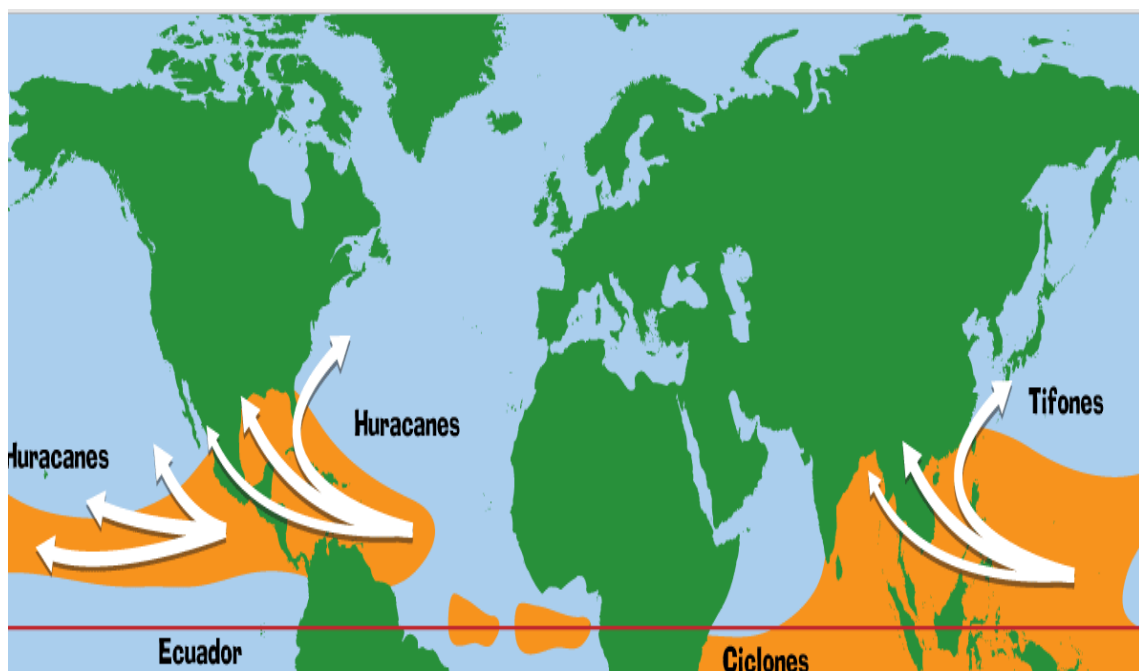


Fig. 2 Zonas de Formación de Huracanes (Imagen Laboratorio de Investigación del Sistema Terrestre de EE.UU.)

A continuación se describen las variables o elementos que deben estar presentes para que se formen los *Ciclones Tropicales* y posteriormente se desarrolle un Huracán.

1. **Temperatura Superficial del Océano:** Es necesario que este parámetro sea igual o mayor a los 26.5°C, ya que la atmósfera a ésta temperatura es lo suficientemente inestable para que se presente convección y se desarrollen tormentas.
2. **Humedad:** Es necesario que exista una alta humedad especialmente a la altura de la troposfera, por lo que se favorece que se generen perturbaciones.
3. **Profundidad oceánica:** Estos fenómenos necesitan para su formación de aguas de más de 50 metros de profundidad, conforme aumenta este factor, el ciclón aumenta la energía de la que se alimenta, por lo que incrementa la fuerza de los vientos y las tormentas, hasta llegar a formarse un huracán.
4. **Presión:** Es necesario la preexistencia de una zona de convergencia de baja presión superficial que tiende a ser inferior a 1000mbar (milibares).
5. **Viento:** Es uno de los factores más importantes, puesto que la presencia de vientos cálidos sobre la superficie del océano incrementa la evaporación, y de esta manera se comienza el proceso de convección con ayuda de la presión. Es importante que a distancias altas el flujo de aire sea débil, para que la estructura cíclica del proceso se mantenga intacta y no se interrumpa.

### 2.3 Estructura

Estructuralmente se define a un Huracán como un gran sistema donde convergen nubes en rotación, vientos fuertes y actividad de tormentas, en donde la fuente principal de energía es el vapor de agua, el cual se condensa a grandes altitudes formando de esta manera este tipo de sistemas climáticos. En la figura 3 se observa la forma y las partes que conforman un huracán.

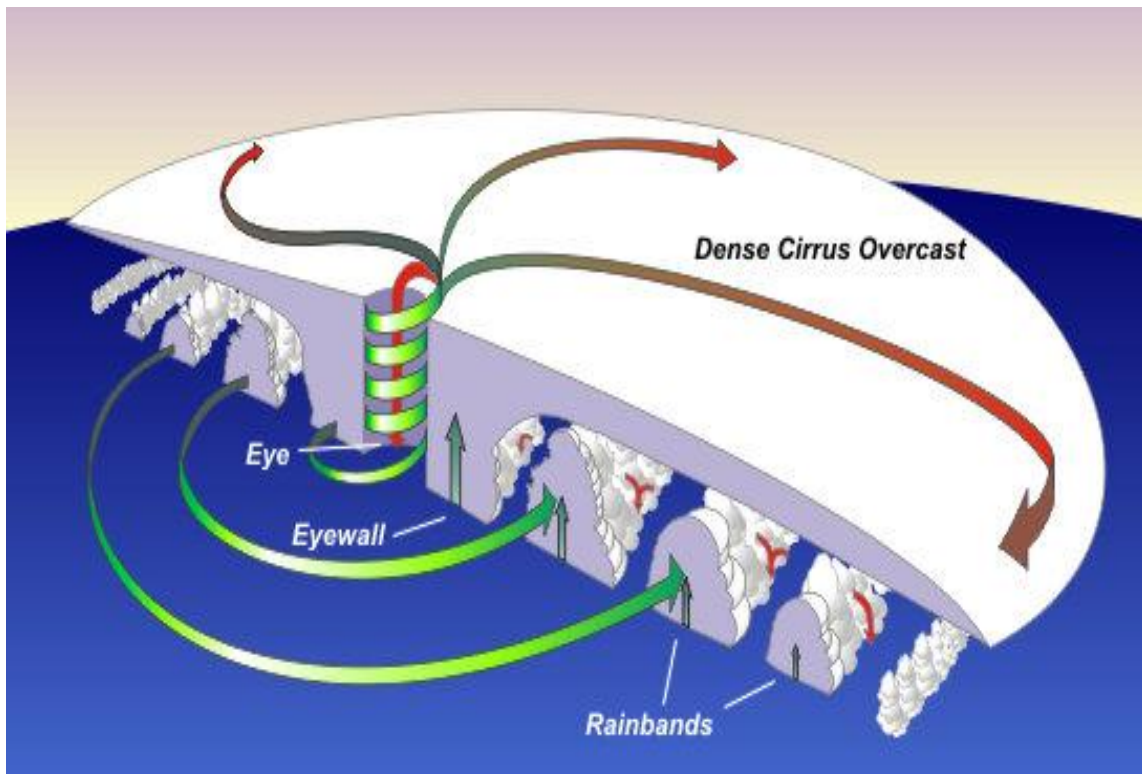


Fig. 3 Estructura de un huracán (Imagen Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los EE.UU.)

### 2.3.1 El ojo de huracán

En la estructura física de un huracán, el ojo está ubicado en el centro y es el eje de rotación de la tormenta. Su forma generalmente es circular, pero en algunos casos, cuando son muy intensos, se puede presentar una curvatura en el interior de la pared del ojo, tomando un aspecto como de estadio de fútbol; a este fenómeno se le denomina “efecto estadio”.

Pueden tener un diámetro aproximadamente entre 10 y 60 Km aproximadamente, y generalmente se encuentra libre de nubes además de ser el lugar donde se encuentran las presiones más bajas, temperatura cálida y vientos muy ligeros.

### 2.3.2 Pared del ojo

Se denomina pared del ojo a la zona de nubes que gira alrededor del mismo, donde se concentran los vientos más fuertes y se generan las tormentas más intensas de un huracán. La convergencia del aire es tan fuerte, que en esta zona se levanta más rápidamente por lo que el transporte de humedad del océano y la generación de calor latente se maximiza en esta región más que en otras

### 2.3.3 Bandas de lluvia

Son sistemas de tormentas que giran alrededor y hacia el ojo del huracán, aquí si presentan altas precipitaciones y vientos fuertes, estas bandas de lluvia van disminuyendo su intensidad al irse alejando del centro. [Kochel et al.,1998 ]

Los vientos tienden a ser más fuertes superficialmente, y se debilitan con la altura, e invierten su giro por el efecto de Coriolis. A continuación en la Figura 4 se aprecia una vista de la estructura física del huracán Mitch.

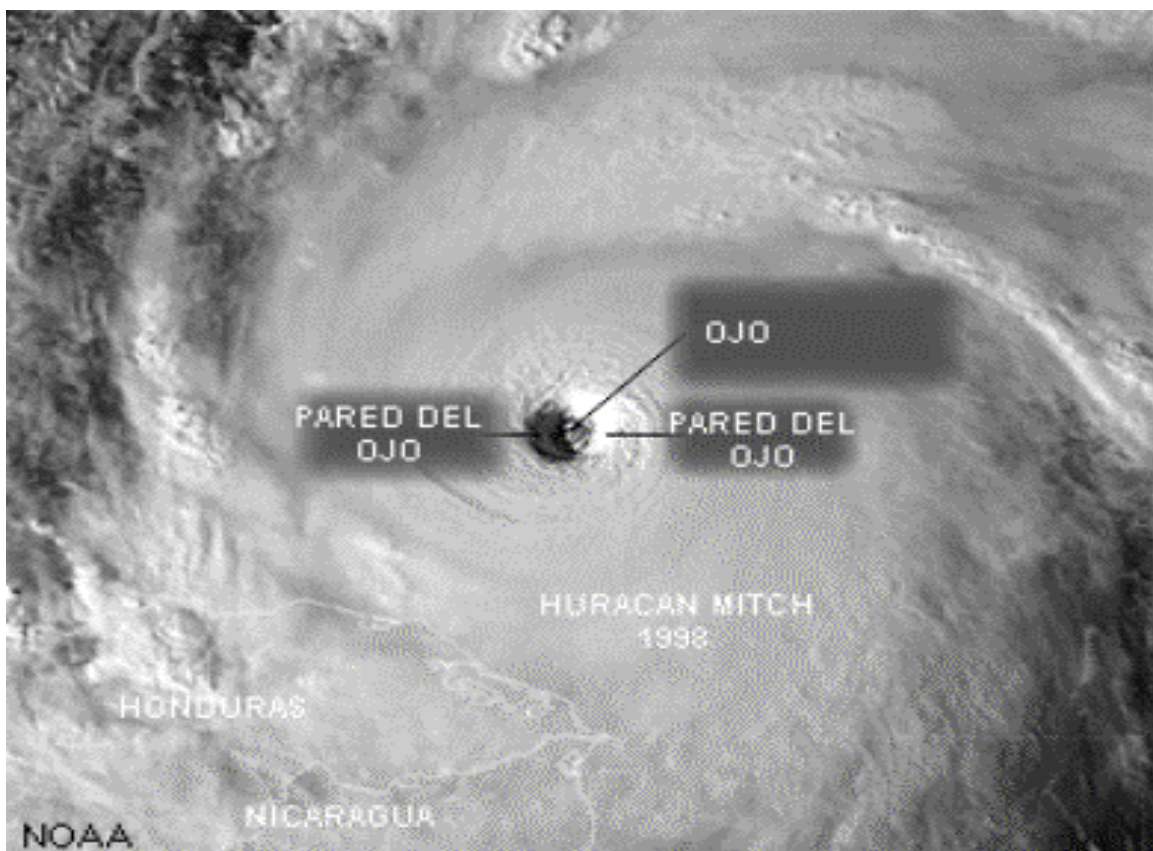


Fig. 4 Estructura física del Huracán Mitch (Imagen Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los EE.UU.)

### 2.4 Evolución

El proceso se inicia con la aparición de una depresión tropical; cercana a los 1000 mbar (milibares), la cual genera un aumento de los vientos superficiales en las aguas cálidas del océano y en donde se comienzan a organizar las nubes.

La siguiente etapa del ciclón se denomina tormenta tropical, y es en este lapso de tiempo que se observa un aumento en la circulación del viento a una velocidad máxima entre los 63 y 117 Km/h, también disminuye la presión por debajo de los 1000 mbar (milibares), y las nubes van tomando forma de espiral y tiende a formarse un pequeño ojo.

Al intensificarse la tormenta tropical se genera un huracán, en donde se observan vientos con velocidades de más de 119Km/h, fuertes tormentas eléctricas y grandes precipitaciones que pueden ir incrementándose conforme el huracán aumenta su energía, además en esta etapa, presenta una estructura perfectamente definida.

Al ir perdiendo la energía proveniente del océano, por la entrada en tierra o por la presencia de aguas más frías y menos profundas, la presión en el centro del sistema comienza a aumentar, las tormentas van disminuyendo su actividad y los vientos comienzan a reducir su velocidad. En caso de que el huracán llegue a tierra, se pueden observar daños estructurales en casas, edificios, embarcaciones, entre otras, ocasionados por la velocidad de los vientos pese a que están disminuyendo aun causan daño a su paso, además de inundación causada por las altas precipitaciones.

## 2.5 Escala de medición Saffir-Simpson

Es una escala desarrollada en 1969 por el ingeniero civil Herbert Saffir y el director del centro nacional de huracanes de estados unidos, Bob Simpson, la cual tiene el objetivo de clasificar a los ciclones tropicales según la intensidad del viento.

La escala original fue desarrollada por Saffir cuando se encontraba realizando un estudio para construcciones de bajo costo en áreas propensas a sufrir huracanes, cuando se percató de que no existía una escala apropiada para describir los efectos generados por los huracanes: por lo que inventó una escala de cinco niveles basada en la velocidad del viento.

Donde se describían los posibles daños a las edificaciones que tuvieran contacto con los huracanes. Posteriormente, esta escala fue cedida al centro nacional de huracanes en estados unidos, en donde Bob Simpson le añadiría los efectos del oleaje en inundaciones.

Esta escala no incluye las dos primeras fases de los *Ciclones Tropicales* antes de convertirse en huracán: la primera etapa es la *Depresión Tropical*; comienzan a organizar las nubes y se generan las primeras tormentas eléctricas, al ir aumentando su energía, se genera una Tormenta tropical sistema más organizado, de vientos más fuertes y de tormentas más intensas, posee una circulación más definida con forma ciclónica y donde comienza a formarse el ojo.

## 2.6 Clasificación

La escala de medición y clasificación de huracanes Saffir- Simpson se encuentra dividida en 5 categorías, esta división se hace bajo el criterio de la velocidad del viento. A continuación se muestra la Figura 5, que establece la velocidad del viento para cada categoría, y los posibles daños estructurales y naturales, cuando un huracán se aproxima o entra a tierra firme.



Fig. 5 Imagen de la Escala de Clasificación de Huracanes Saffir-Simpson (Imagen Periódico la Nación)



# CAPÍTULO 3. ANÁLISIS WAVELET

## 3.1 Introducción

En este capítulo se describe de la teoría de Wavelet, que se utilizará para determinar las periodicidades de los huracanes en todo el océano y adicionalmente para identificar la relación que existe en la zonas este del océano pacífico con el niño (ENSO) y la temperatura superficial oceánica (SST). Para

El análisis Wavelet es una herramienta matemática que descompone una señal en el tiempo, en la suma de diferentes señales temporales denominadas funciones Wavelets hijas. Cada una de éstas tiene distintas escalas en diferentes niveles de resolución, obtenidas mediante escalado y dilatación de una determinada función matemática temporal denominada función Wavelet madre. Esto permite el análisis de la señal con diferentes niveles de detalle, característica que da lugar al Análisis Multi-resolución o MRA.

Para lograr esto, debemos hacer pasar la señal por una serie de filtros, descomponiéndola, a esto lo denominamos descomposición.

Las gráficas Wavelets constan de varios indicadores; entre los que encontramos la serie de tiempo, el período, la potencia y el código de colores, entre otros. Estos parámetros al ser interpretados, nos brindan información sobre los datos que se están analizando, de esta manera se pueden identificar las periodicidades más importantes, el desarrollo de los datos a lo largo del tiempo, la correlación que existe entre ellos cuando se analizan dos series de tiempo, entre otras cosas.

En la figura 6, se aprecian algunos de estos parámetros dentro de la gráfica de una wavelet continua, los cuales nos permiten realizar un análisis tiempo - frecuencia, de los datos que se encuentran en el dominio del tiempo.

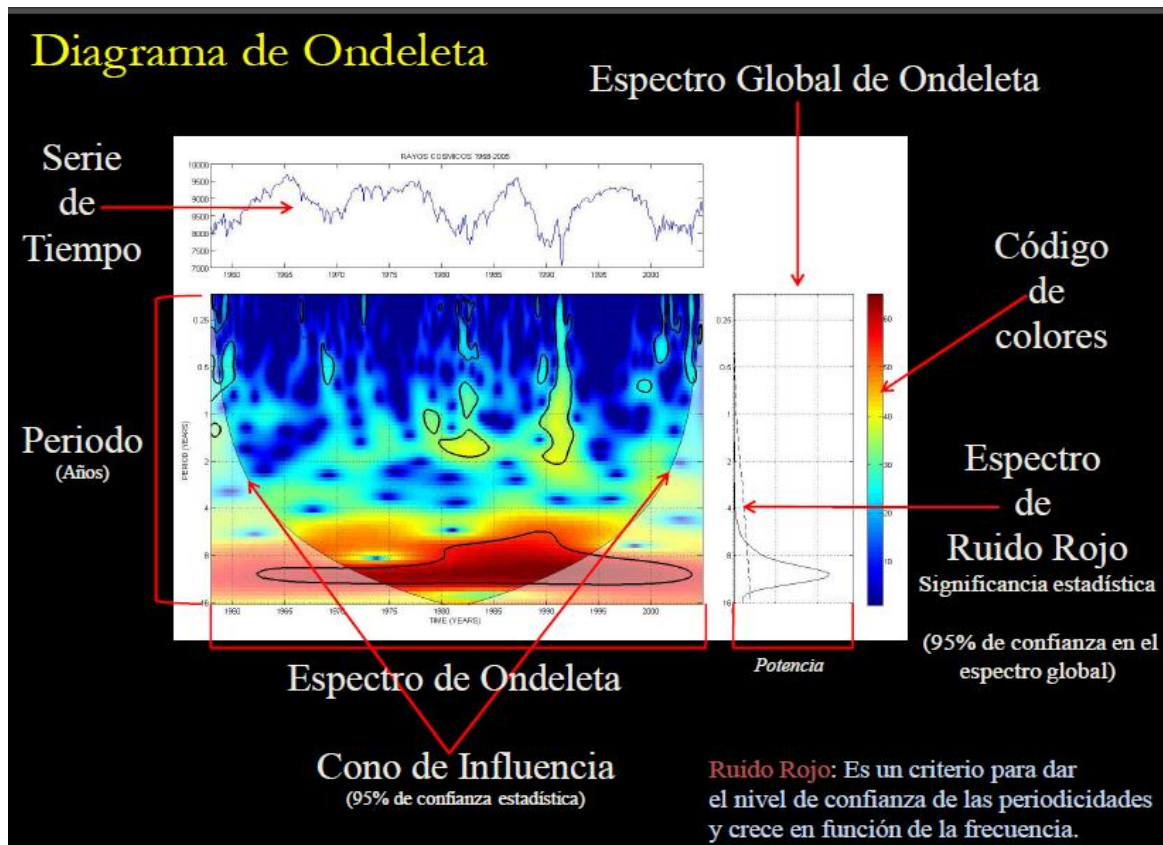


Fig. 6 Composición de una Gráfica Wavelet

### 3.2 Transformada Wavelet Continua.

Dada una señal  $s(t)$ , de energía finita, la *Transformada Wavelet Continua* intenta expresar la señal  $s(t)$ , continua en el tiempo, mediante una expansión de términos o coeficientes proporcionales, al producto interno entre la señal y diferentes versiones escaladas y trasladadas de una función madre  $\Psi(t)$ . la *Transformada wavelet continua* se define como (1):

$$CWT(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (1)$$

Esta transformada permite representar a la señal  $s(t)$ , en el plano Tiempo - Escala, en donde la variable escala lleva en si la información de la dilatación y de la contracción de la señal, mientras que en el dominio del tiempo, la variable de translación es la que tiene la información de la señal, ya que nos indica en que lugar en el eje del tiempo se encuentra la Wavelet.



### 3.3 Funciones Wavelet Madre

De manera muy general, la *Transformada Wavelet* de una función  $f(t)$  es la descomposición de la misma, en un conjunto de funciones  $\Psi_{s,\tau}(t)$ , que forman una base y son llamadas las *wavelets* [Sheng, 1996].

Las *Wavelets* son generadas a partir de la traslación y cambio de escala de una misma función *Wavelet*  $\Psi(t)$  llamada *Wavelet Madre* y se definen como la ecuación siguiente (2):

$$\Psi_{s,\tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \Psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) \quad (2)$$

Donde  $s$  es el factor de escala, y  $\tau$  es el factor de traslación. Las *Wavelets*  $\Psi_{s,t}(t)$  generadas de la misma función wavelet madre  $\Psi(t)$  tienen diferente escala  $s$  y la ubicación  $\tau$ , pero todas tienen la misma forma. Se utilizan siempre factores de escala donde  $s$  mayor cero.

Las *Wavelets* son dilatadas cuando se cumple que  $s$  es mayor que uno, y son contraídas cuando se cumple que el valor de  $s$  es menor que uno. De esta manera cambiando el valor de  $s$  se cubren diferentes rangos de frecuencias [Daubechies, 1992].

Algunas de las *Wavelets* madres más famosas entre ellas es la *Mexican Hat* cuyo nombre lo toma por la forma de su gráfica (3):

$$\Psi(t) = \frac{2}{\sqrt{3\sigma\pi^{\frac{1}{4}}}} \left(1 - \frac{t^2}{\sigma^2}\right) e^{\frac{-t^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

Esta wavelet, es la segunda derivada de la función gaussiana y como veremos en la figura 7, es simétrica, característica que permite examinar a las señales de modo simétrico y lineal en la fase. Al igual que la Haar, se utilizan dependiendo de los intereses del análisis [Daubechies, 1992].

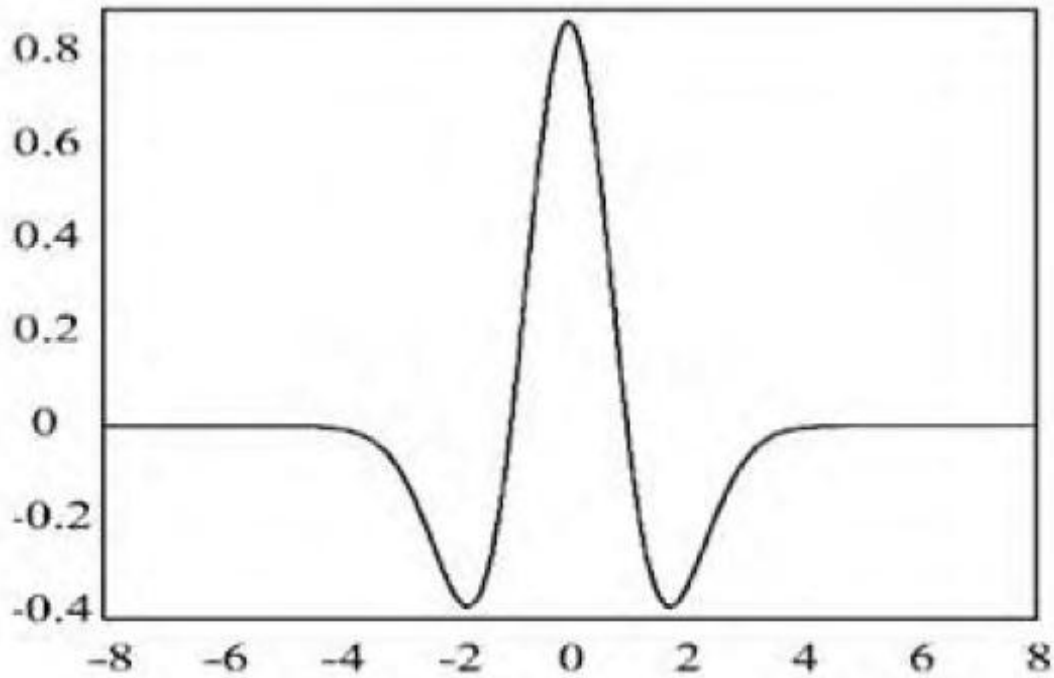


Fig. 7 Wavelet Mexican Hat (Imagen Simulación en Matlab®)

Una de las más utilizadas, y que la aplicamos en este trabajo de investigación, es la wavelet Morlet, cuya expresión se define como (4):

$$\Psi_{\sigma}(t) = C_{\sigma} \pi^{-\frac{1}{4}} e^{-\frac{1}{2}t^2} (e^{i\sigma t} - k_{\sigma}) \quad (4)$$

$$\text{Donde: } k_{\sigma} = e^{\frac{1}{2}\sigma^2}$$

Se define bajo el criterio de admisibilidad y  $C_{\sigma}$  es la constante de normalización (5):

$$C_{\sigma} = \left(1 + e^{-\sigma^2} - 2e^{-\frac{3}{4}\sigma^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (5)$$

En la figura 8, se puede observar la gráfica de una función Morlet. Con la se analizaron las bases de datos en este proyecto de investigación, ya que es la función madre que nos brinda mejor resolución en frecuencia, y porque a partir de ella se puede reconstruir cualquier señal en el tiempo.

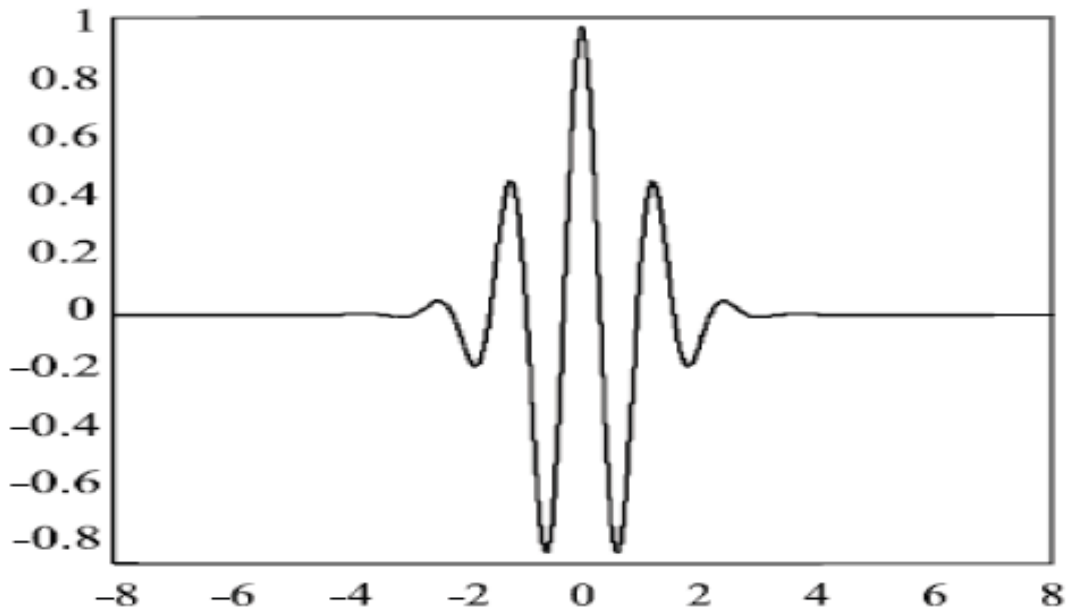


Fig. 8 Wavelet Morlet (Imagen Simulación en *Matlab*®)

### 3.4 Transformada Wavelet Cruzada

Dadas dos series de tiempo  $x_n$  e  $y_n$ , con sus respectivas transformadas wavelet,  $w_n^x(s)$  y  $w_n^y(s)$ , se puede definir el espectro de la wavelet cruzada como (6) :

$$w_n^{xy} = w_n^x(s)w_n^{y*}(s) \quad (6)$$

Donde el \* denomina la conjugación compleja de  $w_n^y(s)$ , y se define la energía de la wavelet cruzada como  $|w^{xy}|$ . El argumento complejo  $\arg(w^{xy})$ , puede ser interpretado como la fase relativa local entre  $x_n$  e  $y_n$ , en el espacio tiempo-frecuencia. La distribución teórica de la energía de la wavelet cruzada de las dos series de tiempo con energía espectral  $p_k^x$  y  $p_k^y$  esta representada como (7): [Torrence and Compo, (1998)].

$$\frac{|w_n^x(s)w_n^{y*}(s)|}{\sigma_x\sigma_y} \quad (7)$$

Donde  $\sigma_x$  y  $\sigma_y$ , son las respectivas desviaciones estándar. Finalmente, se afirma que la Transformada wavelet de una serie de tiempo representa la varianza, y la transformada wavelet cruzada de dos series de tiempo representa la covarianza de éstas señales. Por tanto, la wavelet cruzada nos da información de que tan relacionadas están las energías de ambas señales.

# CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE BASES DE DATOS

## 4.1 Introducción

En este capítulo se realizó el análisis obtenidos a partir del procesamiento de las bases de datos con las que se contó en este trabajo de investigación.

Estas bases son una recopilación de presiones, velocidad de los vientos, temperaturas del océano y coordenadas geográficas a lo largo del tiempo de todos los eventos climáticos:

- depresiones tropicales,
- tormentas tropicales,
- huracanes de todas las categorías,

que se han presentado sobre el océano pacífico en los últimos sesenta y seis años aproximadamente.

## 4.2 Zonas de Distribución de los Fenómenos Climáticos Sobre el Océano Pacífico

En la figura 9, se observan todas las corrientes que interactúan en el océano pacífico, de las cuales para este proyecto de investigación, analizaremos solo las que se encuentran en el hemisferio norte del océano, las que se encuentran encima del meridiano del cero (ecuador).



Fig. 9 Corrientes del Océano Pacífico. (Ocean Currents and Sea Ice from Atlas of World Maps Service Forces, Army Specialized Training Division.)

En la imagen se observa el movimiento y giro de las corrientes que interactúan en todo el océano pacífico, pero las corrientes que se estudiaron en esta investigación son:

- La corriente de kuroshio,
- La corriente del pacífico del norte
- La corriente de california
- la corriente ecuatorial del norte

que al juntarse forman lo que se denomina el giro de la tortuga.

Tres de estas cuatro corrientes tienen en común que son de aguas cálidas, excepto la de California, que varía su temperatura cada 20 años aproximadamente.

Esto es importante resaltarlo, puesto que es una de las variables que intervienen en la formación de los ciclones tropicales.

Para el desarrollo de la Identificación de las zonas en el océano pacífico donde se forman los huracanes de las diferentes categorías, también las tormentas y depresiones tropicales, se realizó graficación de las coordenadas geográficas utilizando la aplicación de Mapas de *Matlab*®.

El desarrollado de la primera parte del proyecto permitió clasificar los datos en los diferentes fenómenos climáticos (depresiones tropicales, tormentas tropicales y huracanes), ocurridos en los últimos sesenta y seis años.

Posteriormente se procedió a graficar las coordenadas de todos estos eventos climáticos sobre un mapa del océano pacífico tal y como se muestra en esta sección.

La figura 10 muestra la distribución de todas las depresiones tropicales ocurridas en los últimos 66 años sobre el océano pacífico.

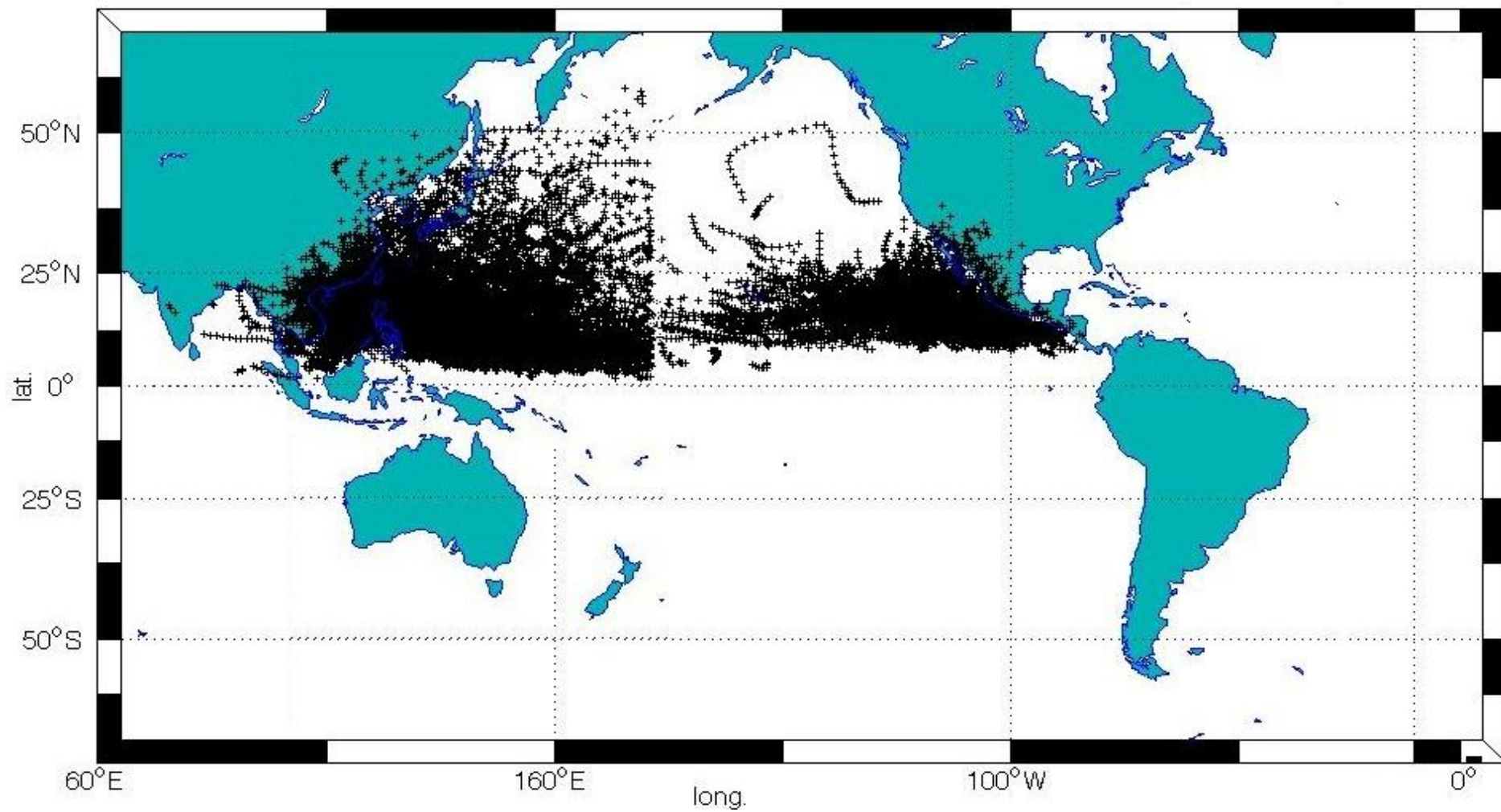


Fig. 10 Distribución de las *Depresiones Tropicales* sobre el Océano Pacífico.

En la figura 10, se identifican dos zonas puntuales:

- La primera es la zona que se encuentra en la parte oeste del océano pacífico y se localiza frente al continente asiático y afecta a las costas de países como China, Japón, Corea del sur, Filipinas, Vietnam y Tailandia, entre otros.
- La segunda zona identificada, se localiza frente al continente americano, y afecta las costas del sur este de México, Guatemala y el Salvador entre otros países.

Se pudieron relacionar directamente las aguas cálidas de la corriente ecuatorial del norte, y la de kuroshio con la formación de depresiones tropicales.

Si éstas aumentan su actividad por la energía que proporcionan las aguas cálidas y profundas de estas zonas del océano pacífico, estos fenómenos climáticos evolucionan a tormentas tropicales,

La figura 11 muestra las tormentas tropicales que se formaron en los últimos 66 años en el océano pacífico.

En esta imagen se observa la distribución de las tormentas tropicales sobre el océano pacífico, se logra la identificar:

- Que las zonas de mas incidencia sobre la parte este y oeste del mismo. Además, logramos identificar una mayor incidencia de tormentas sobre la corriente ecuatorial del norte y sobre la corriente de kuroshio (fig. 11).
- En la parte oeste se observa que en zonas oceánicas de aguas profundas y cálidas, es donde más se dan las condiciones mínimas para la generación de estos fenómenos climáticos.



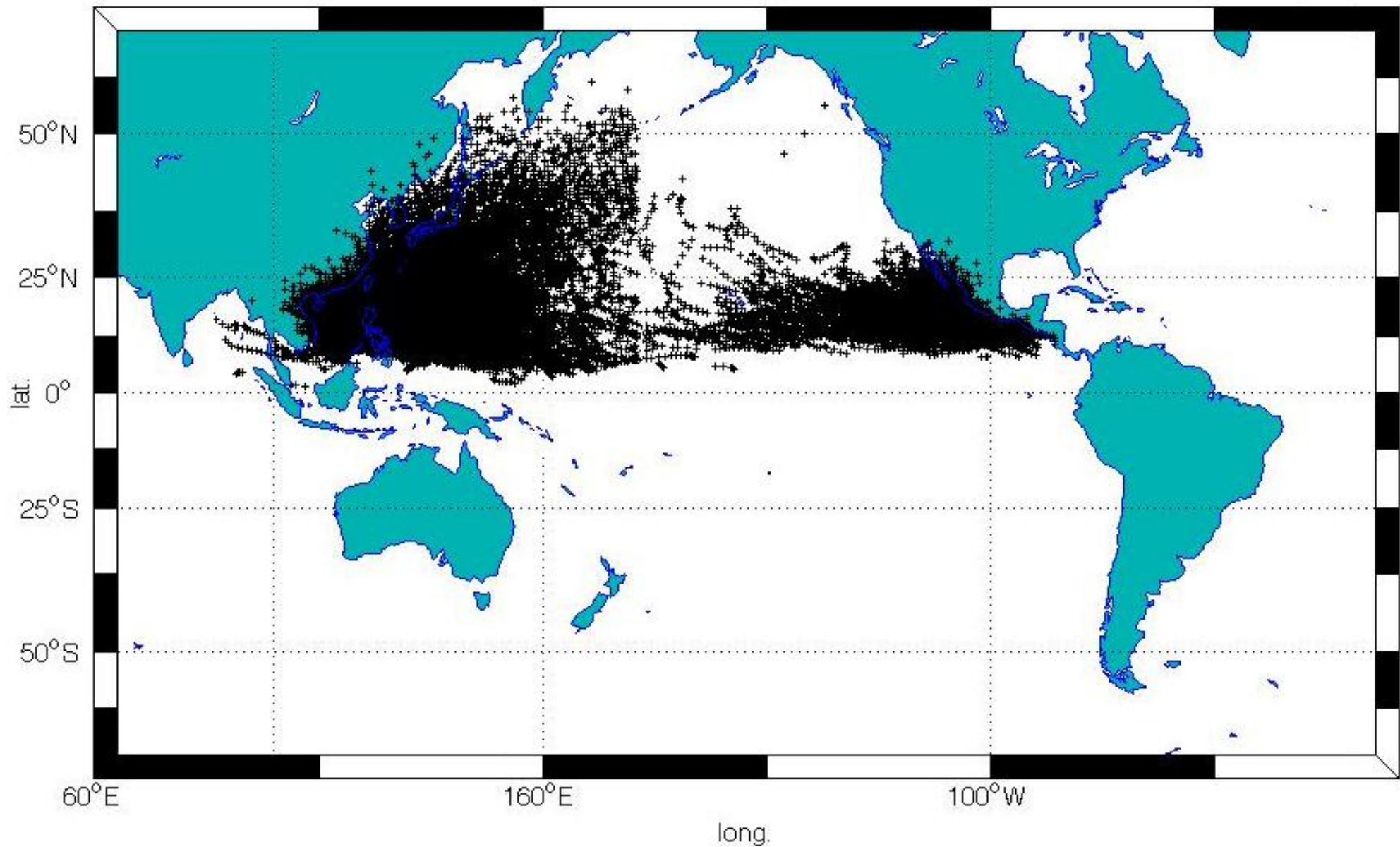


Fig. 11 Distribución de las *Tormentas Tropicales* sobre el Océano Pacífico.

La figura 12 muestra la distribución de los huracanes categoría uno sobre el océano pacífico

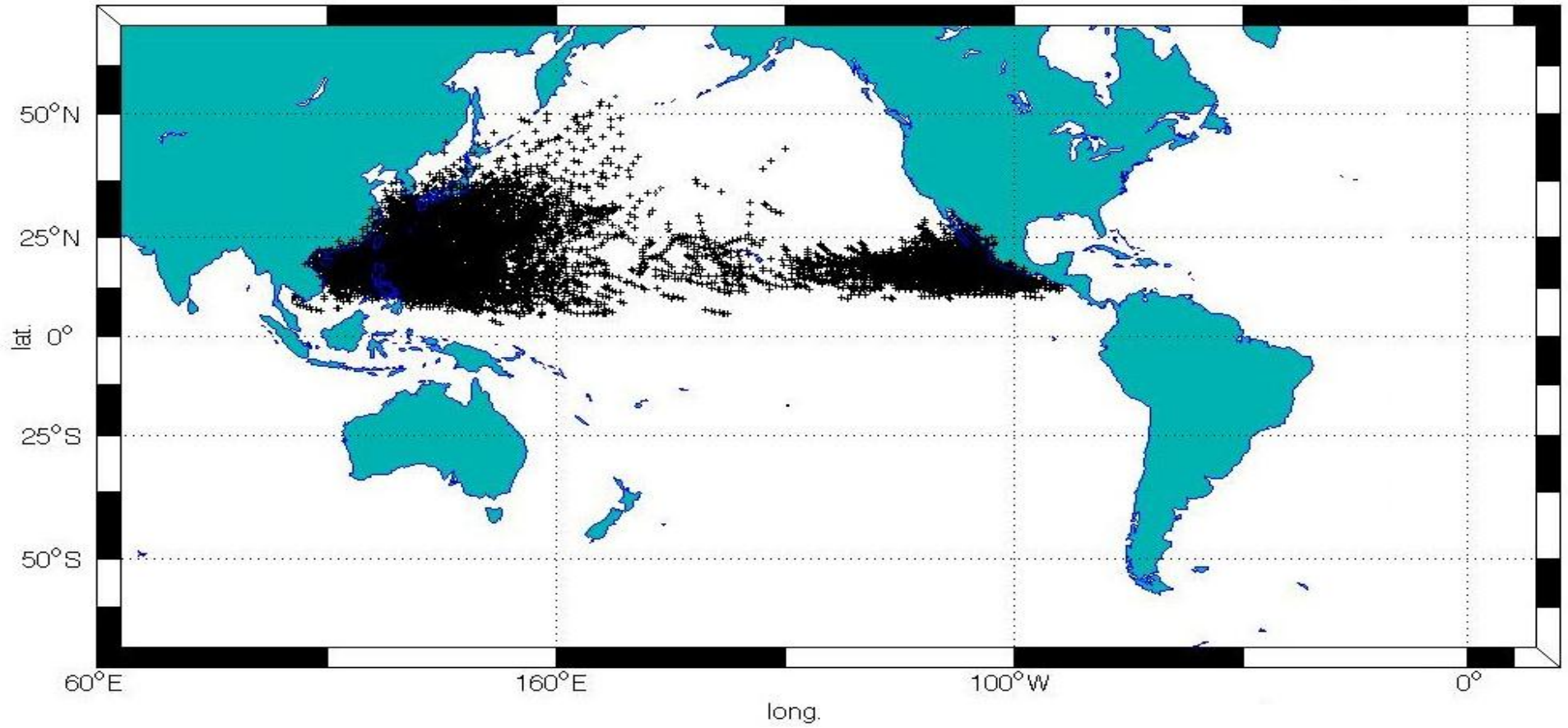


Fig. 12 Distribución de los *Huracanes Categoría Uno* sobre el Océano Pacífico

- A partir de los datos analizados, se determinó que en el océano pacífico se formaron un total de 530 huracanes categoría uno, de los cuales, 206 se presentaron en la zona este y 324 en el oeste. Los huracanes registrados en el pacífico este, se presentaron en los últimos 63 años; mientras que los registrados en la parte oeste, se presentaron en los últimos sesenta y seis años.

Al incrementarse la energía de los huracanes categoría uno, se intensifica la velocidad del viento y las lluvias aumentan, lo que conlleva al paso de la categoría 2; de los cuales se observa su distribución en la figura 13, a partir de esta figura se puede decir que:

- Se registraron un total de 253 huracanes de categoría dos, de los cuales, 68 se presentaron en el pacífico este y 185 en el pacífico oeste. Se determinó que hubo una disminución del 52,2% con respecto a los huracanes de primera categoría analizados en el mismo período de tiempo. Es decir, poco más de la mitad de los huracanes de primera categoría logró aumentar su energía para pasar a la siguiente etapa de la escala Saffir - Simpson.
- De igual manera, la tendencia de formación en la zona oeste del océano se mantuvo, y siguieron siendo las costas del continente asiático donde se dan más las condiciones para la formación de estos eventos climáticos.

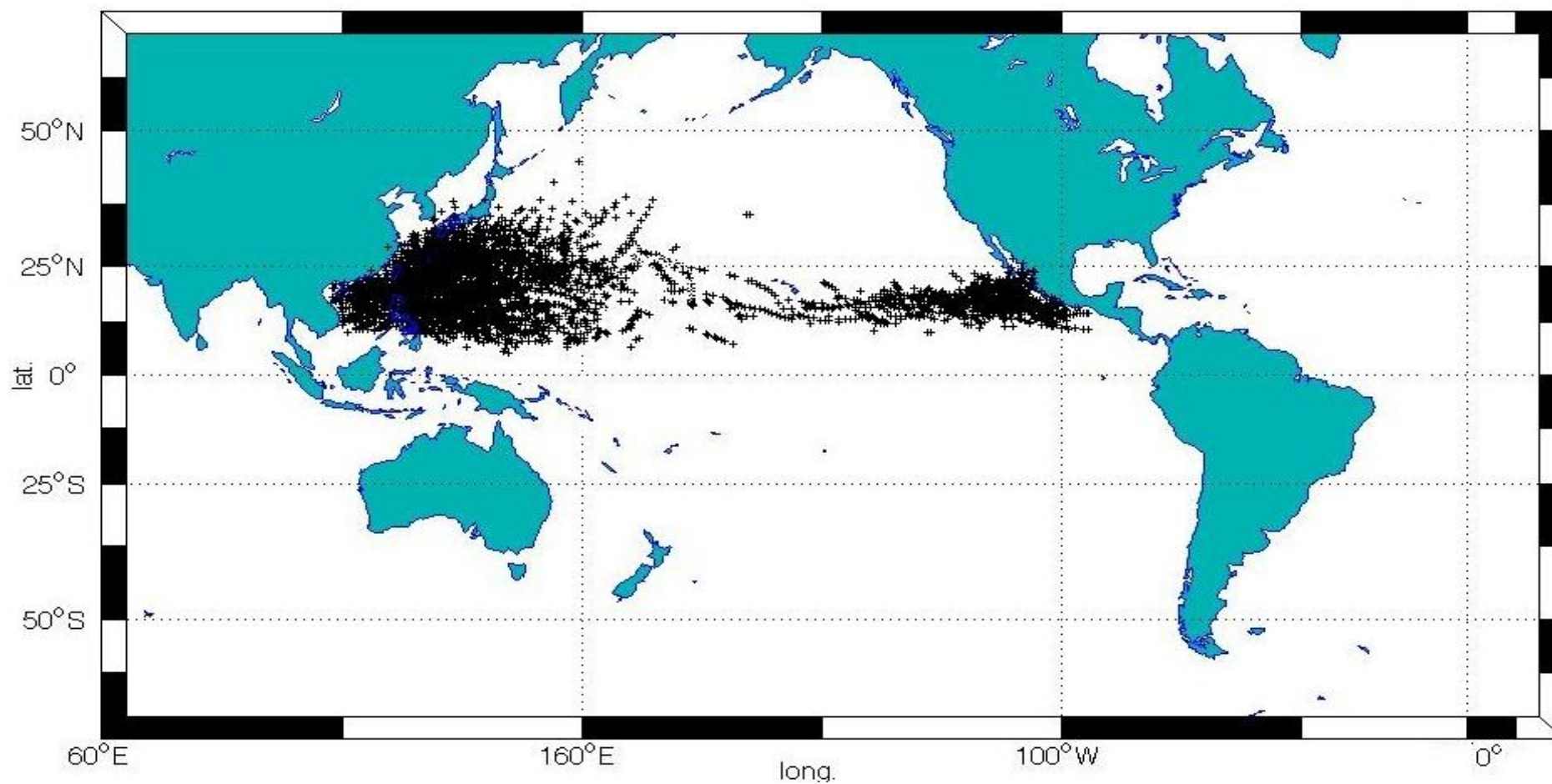


Fig. 13 Distribución de los *Huracanes Categoría Dos* sobre el Océano Pacífico



La figura 14 muestra los huracanes categoría 3 y las zonas de más incidencia en el océano pacífico.

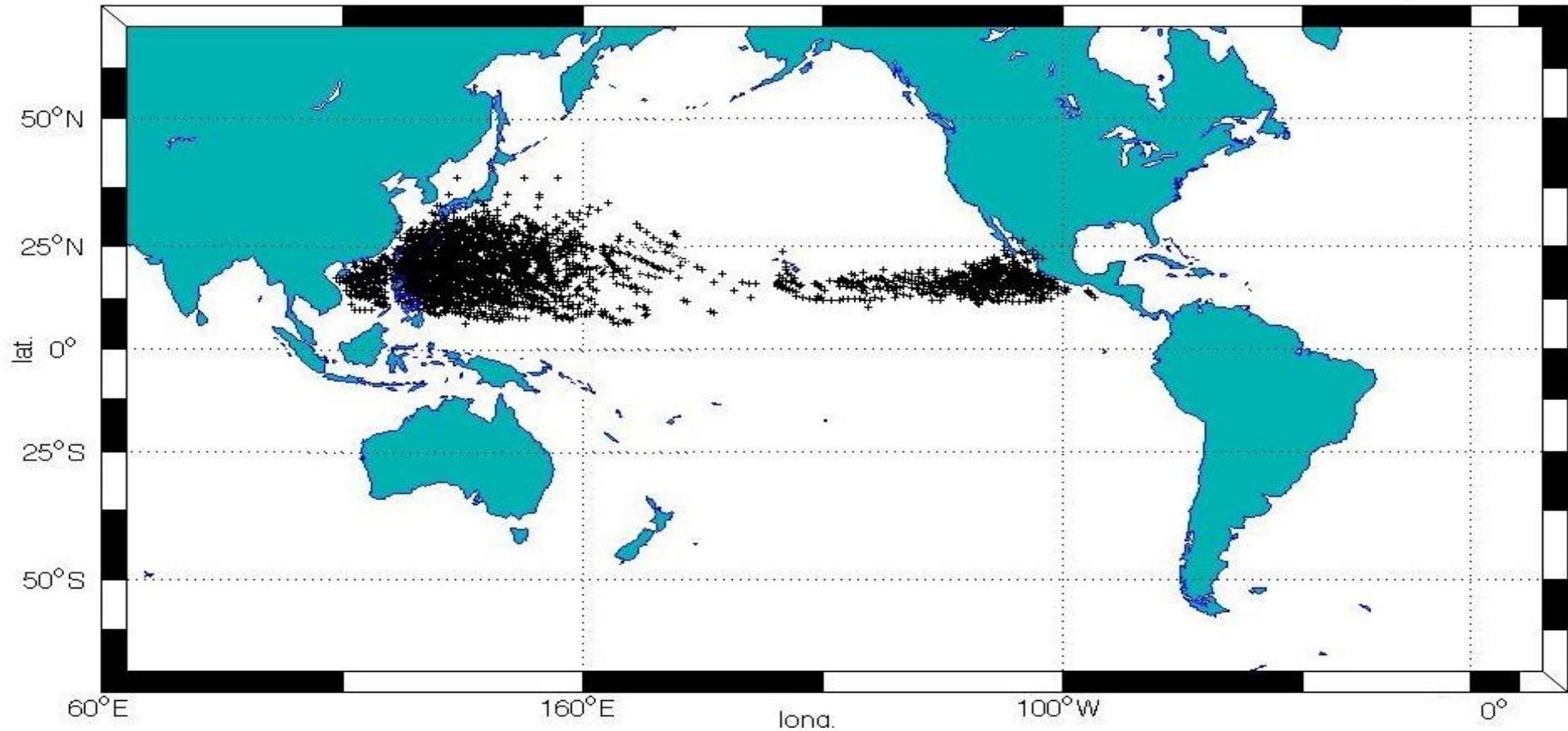


Fig. 14 Distribución de los *Huracanes Categoría Tres* sobre el océano Pacífico

- Se generaron un total de 255 huracanes categoría tres en el período de tiempo establecido, de los cuales 71 corresponden a la zona este del pacífico y 184 a la zona oeste.
- Al observar su distribución, vemos que se mantiene la tendencia sobre las costas asiáticas, ya que presentan un mayor número de huracanes. También se identifica una zona sobre la corriente ecuatorial del norte, donde se presenta la mayor actividad en la parte este del océano pacífico.

La figura 15 muestra la distribución de los huracanes Categoría cuatro, y a partir de su análisis se observa que:

- Para esta categoría se tiene un registro de 351 huracanes ocurridos en todo el océano pacífico, de los cuales 94 se formaron en la zona este y 257 en el oeste. Se observa que la mayoría de estos eventos climáticos se concentran entre los 10° y 27° de latitud norte, siendo las costas del continente asiático las más castigadas, dentro de los países más afectados tenemos a Japón, Taiwán, China, Vietnam, Filipinas y Tailandia, entre otros.

La figura 15 muestra la distribución de los huracanes Categoría cuatro.

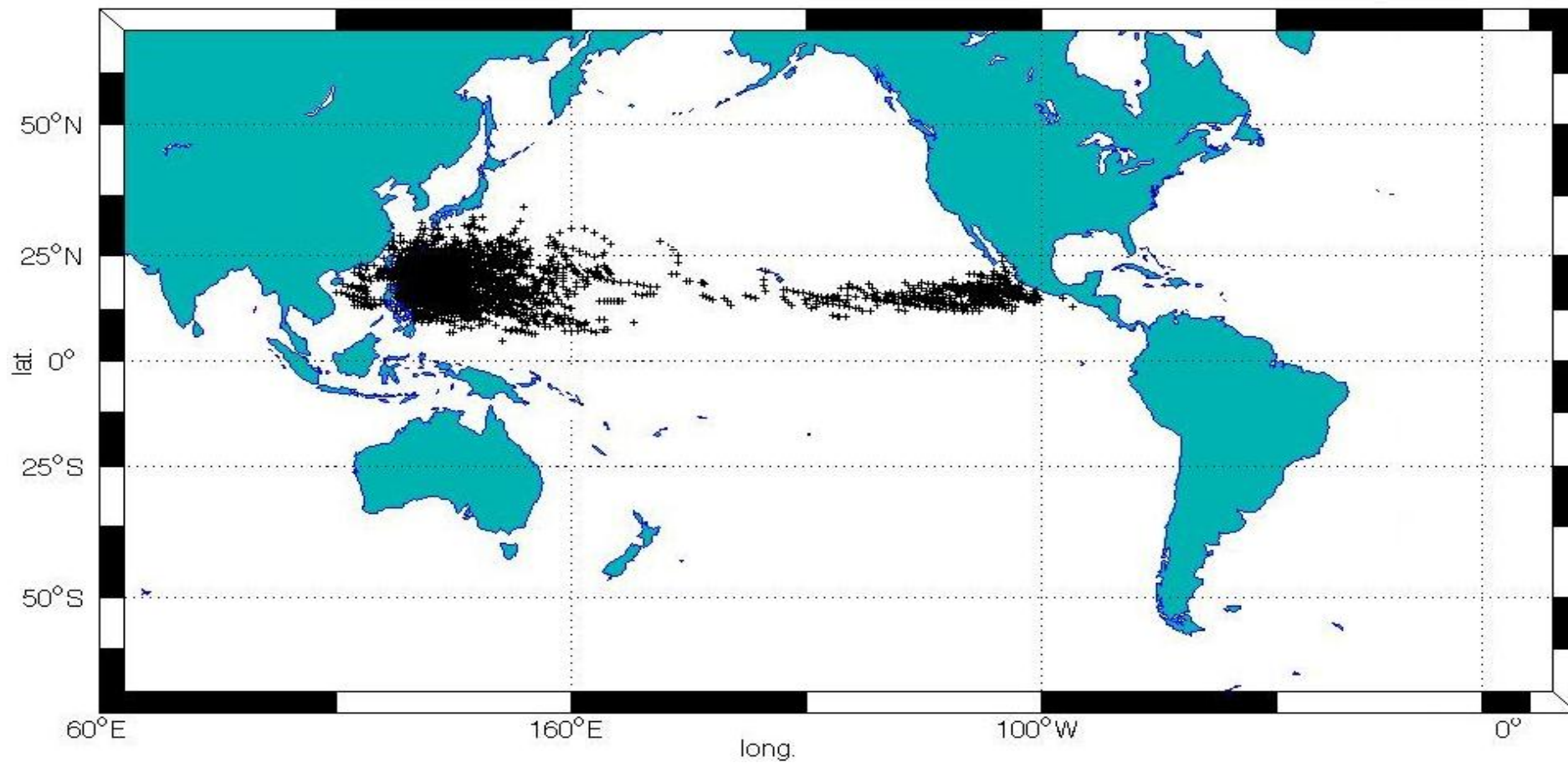


Fig. 15 Distribución de los *Huracanes Categoría Cuatro* sobre el Océano Pacífico

En la figura 16 se muestra la distribución de los huracanes categoría 5 sobre el océano pacífico.

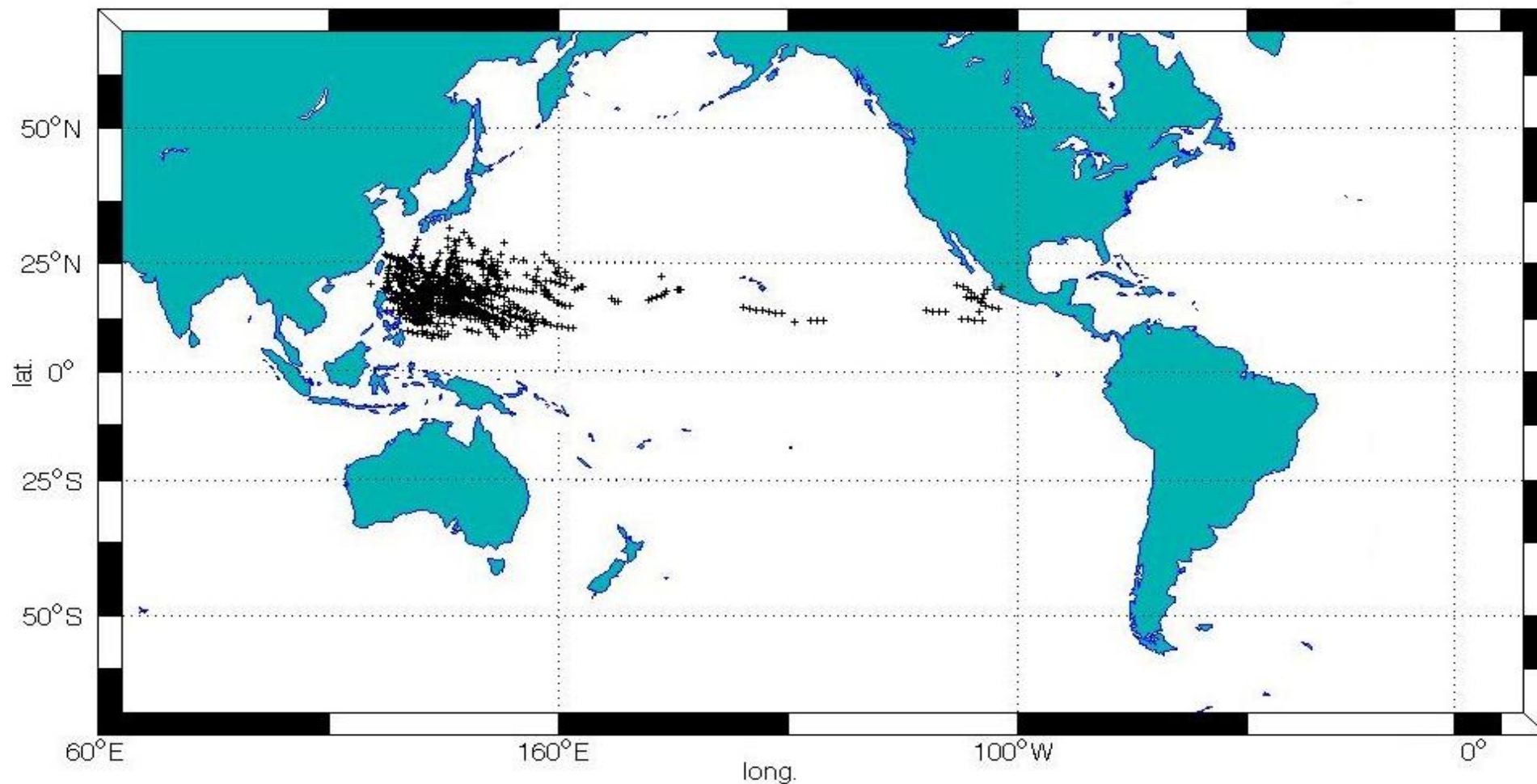


Fig. 16 Distribución de los *Huracanes Categoría Cinco* sobre el Océano Pacífico



- En el período de tiempo analizado, se registraron un total de 182 huracanes de categoría cinco, de los cuales, 17 se formaron en la zona este y 165 en el oeste del océano pacífico, lo que indica una disminución del 52% con respecto a los huracanes categoría anterior; es decir poco más de la mitad de los huracanes de categoría cuatro aumentaron su energía y subieron al último nivel de la escala de medición Saffir - Simpson.
- Se logra identificar que en la zona este del océano pacífico, la mayoría de los huracanes registrados se encuentran entre los 16° y 20° de latitud norte, y afectan las costas Mexicanas de los estados de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero y parte de Oaxaca.

#### 4.3 Wavelets Cruzada entre el Número de Huracanes Ocurridos en el Océano Pacífico y La Velocidad de los Vientos Correspondiente.

En esta sección se realiza la implementación de análisis del Wavelets Cruzado entre el Número de Huracanes Ocurridos en el Océano Pacífico y La Velocidad de los Vientos Correspondiente, donde identifican las periodicidades más importantes para cada una de las cinco categorías de huracanes de la escala Saffir-Simpson. Ya que las periodicidades proporcionan información valiosa sobre la formación de los huracanes para cada categoría.

En la figura 17 se muestra el espectro de la Transformada Wavelet Cruzada de los huracanes categoría uno y su velocidad asociada, en esta figura podemos ver, en la parte superior izquierda, el número máximo de huracanes ocurridos por año, indicados con las líneas negras. En la parte superior derecha, se observa el valor de la velocidad promedio asociada para cada huracán, que la identifica la línea punteada de color rojo; en la parte inferior, se muestran las distintas concentraciones de energía, lo cual indica la periodicidad de estos huracanes

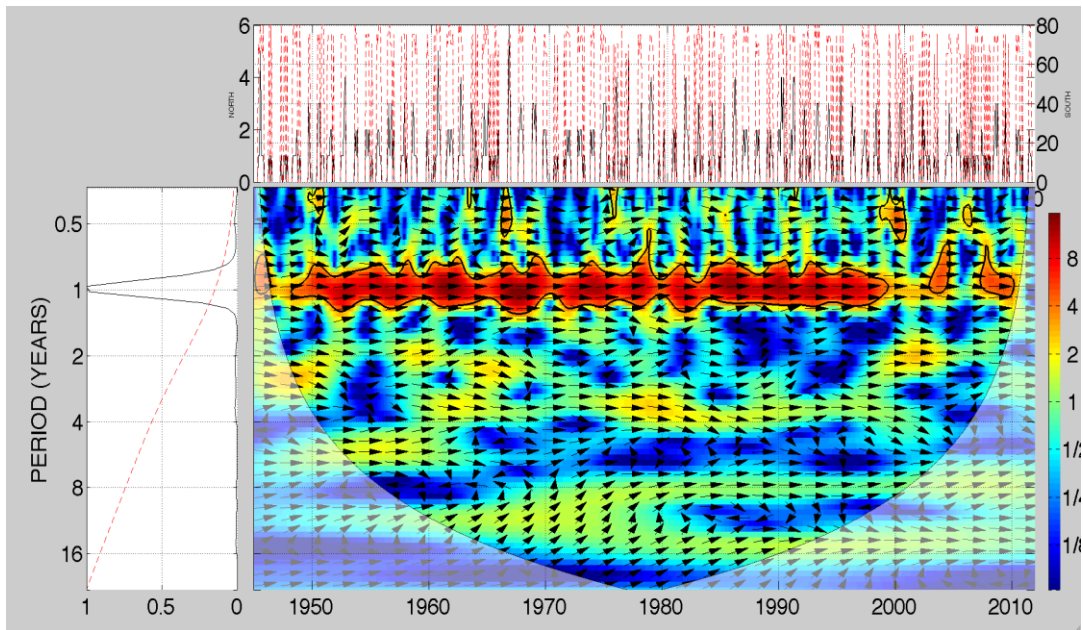


Fig. 17 Wavelet entre el Número de *Huracanes Categoría Uno* y velocidades asociadas.

Para este espectro wavelet podemos decir:

- que la periodicidad dominante corresponde a un año, la cual se encuentra entre 1948 - 1999, 2003 - 2004 y los años 2007 - 2009.
- Se observa que ambas series de tiempo tienen una relación lineal, es decir, están en fase.

La figura 18 corresponde a la Transformada Wavelet Cruzada entre el número de huracanes categoría dos y su velocidad

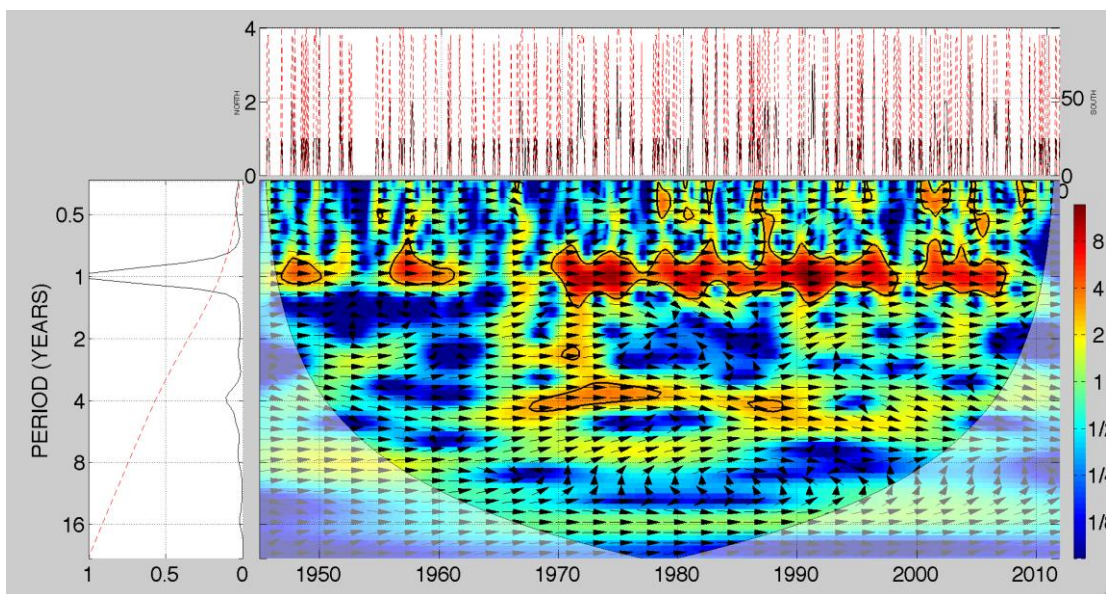


Fig. 18 Wavelet entre el Número de *Huracanes Categoría Dos* y velocidades asociadas.

En esta imagen se observa:

- la periodicidad de ocurrencia dominante es de un año, con una intermitencia entre el año 1948 hasta el 1962 aproximadamente, luego en el año 1970 se mantiene estable hasta 1999 y luego continua entre el 2000 y 2008.

La figura 19 corresponde a la Transformada Wavelet de los huracanes categoría tres y sus respectivas velocidades.

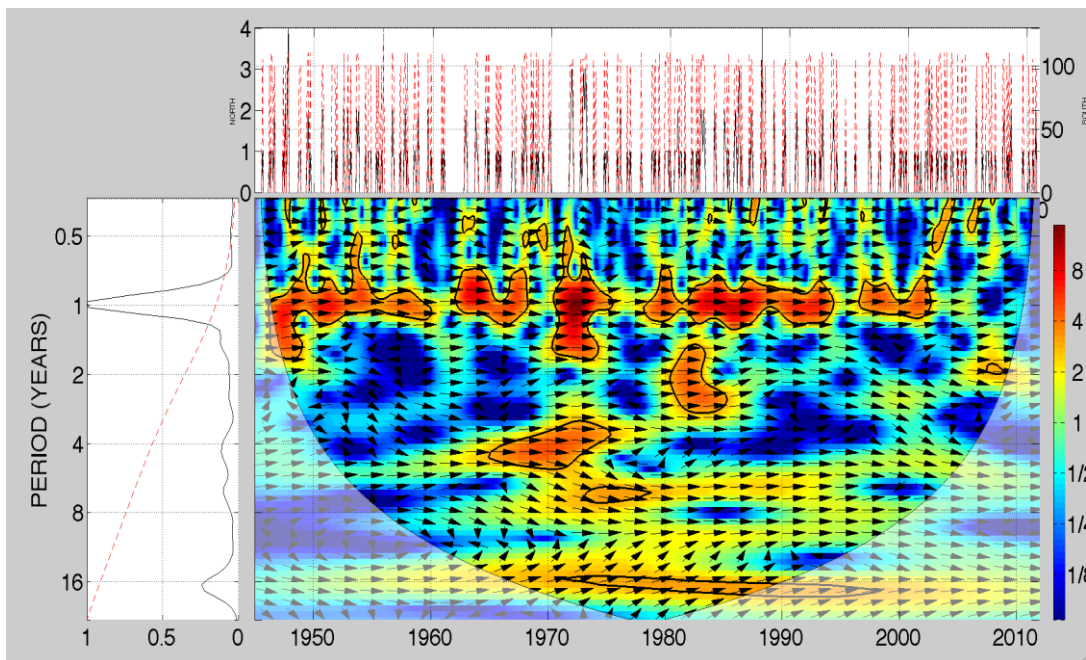


Fig. 19 Wavelet entre el Número de *Huracanes Categoría Tres* y velocidades asociadas.

En esta gráfica observamos:

- la mayor energía la tiene el período de un año, con una nivel casi constante hasta el año 2003, luego se observan unas periodicidades relevantes en 4 y 16 años; en el período de 4 años vemos una relación de fases entre los años (1964 - 1975); en el período de 16 se ve una relación lineal entre los años (1956 - 2008).

La figura 20 muestra las periodicidades de los huracanes categoría 4.

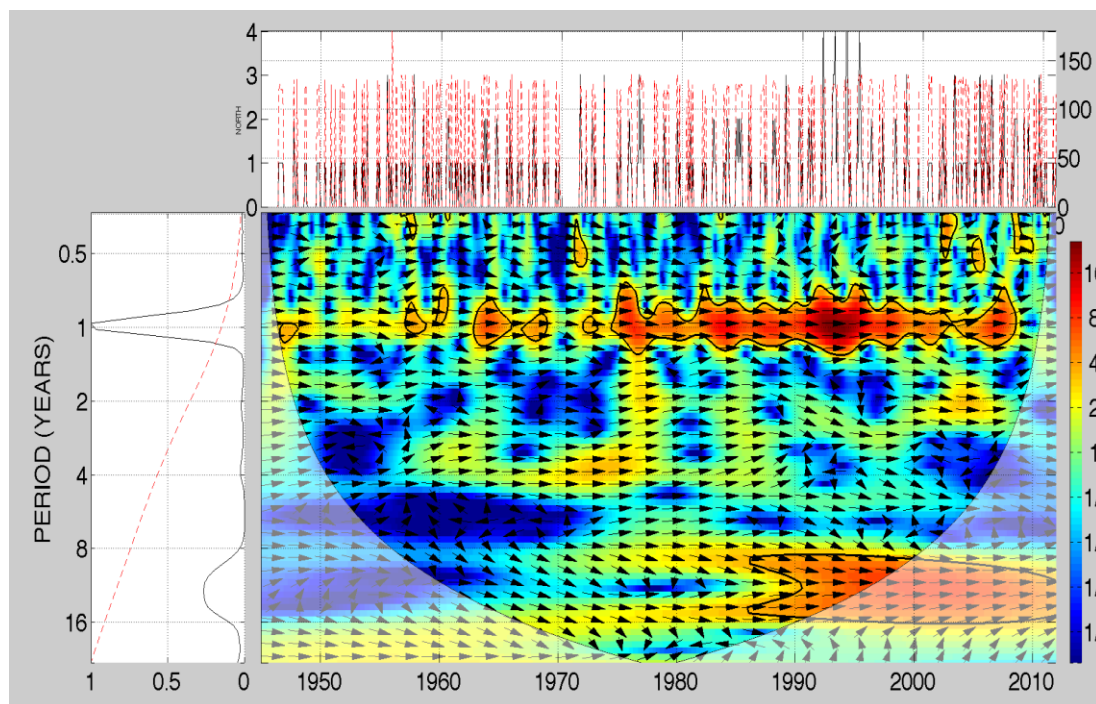


Fig. 20 Wavelet entre el Número de *Huracanes Categoría Cuatro* y velocidades asociadas.

Se observa:

- una distribución de energía y una dependencia lineal entre ambas series, casi constante desde el año 1974 hasta el año 2009, en el período de un año, esto nos indica que anualmente hay más probabilidad de que ocurra un huracán de cuarta categoría en algún lugar del océano pacífico. Se aprecia también otra periodicidad un poco marcada en 12 años que va desde el año (1988 – 2011).



La figura 21 muestra las periodicidades de los huracanes categoría 5.

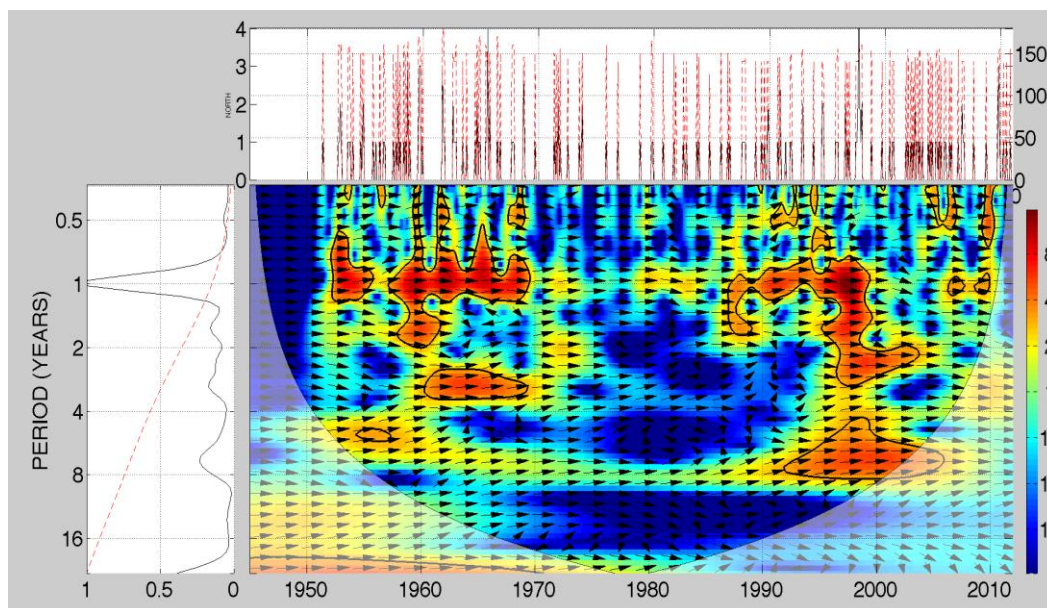


Fig. 21 Wavelet entre el Número de *Huracanes Categoría Cinco* y velocidades asociadas.

- En esta imagen se distinguen 4 periodicidades sobresalientes, en 1, 1.8, 3, y 7 años, en donde se ve que ambas series se encuentran en fase a lo largo del tiempo. Para la periodicidad anual existen cuatro rangos de tiempo, el primero va desde (1952 - 1956), el segundo entre (1957 - 1970), el tercero desde (1987 - 1999) y el cuarto está (2007 - 2010). Luego la periodicidad de 1.8 va desde (1957 - 1962) y desde (1993 - 2000).
- La periodicidad de 3 años va desde (1960 - 1970) y desde el año (1995 - 2000). Y finalmente la de 7 años va desde (1954 - 1965) y desde (1991 - 2006). De igual manera se identificó un período que se encuentra entre los años (1974 - 1987), en donde no se presentó mucha actividad de huracanes categoría cinco.

#### 4.4 Wavelets Cruzado entre la Temperatura Superficial Oceánica (SST) del Pacífico Este y el Número de Huracanes Ocurridos en Esta Zona .

En esta sección se analizará el espectro de la Transformada Wavelet Cruzada, entre todos los huracanes registrados en la zona este del océano pacífico y la temperatura superficial oceánica. Con la finalidad de establecer la relación que existe entre esta variable y la formación de estos fenómenos climáticos.

La figura 22 presenta los datos de la temperatura superficial oceánica, entre los  $8^{\circ}$  y  $22^{\circ}$  de latitud norte y los  $-110^{\circ}$  y  $-135^{\circ}$  de longitud oeste, tomada a partir de 1949 hasta el año 2011. Este rango se determinó teniendo en cuenta que es la zona donde mas se formaron huracanes de categoría uno.

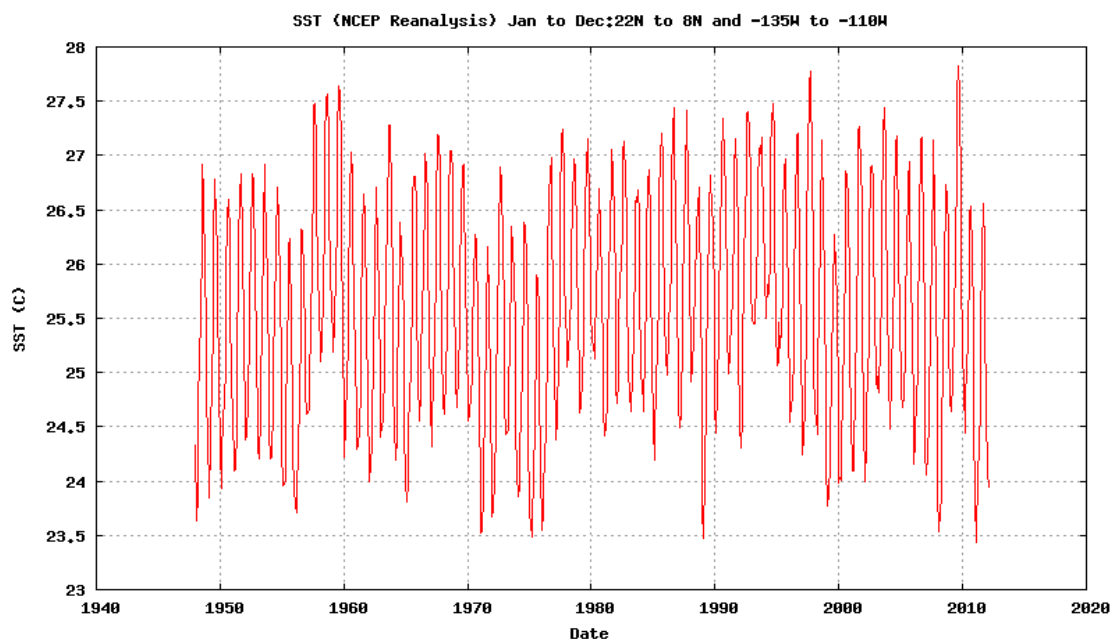


Fig. 22 Datos de Temperatura Superficial del Océano Pacífico (SST)

En esta figura se observa la (SST) del océano pacífico este, la cual tiene un pico máximo local de temperatura en  $27.8^{\circ}\text{C}$  y un pico mínimo local en  $23.5^{\circ}\text{C}$ . El valor promedio de temperaturas entre los años (1949 – 2011) fue de  $25.5^{\circ}\text{C}$  y cabe recordar que estos datos de temperatura corresponden a las coordenadas geográficas de la zona este del océano pacífico donde más se registraron huracanes categoría uno.

la figura 23 muestra el espectro Wavelet Cruzado entre la (SST) mostrada en la figura 22 y los 206 huracanes categoría uno registrados en el océano pacífico este.

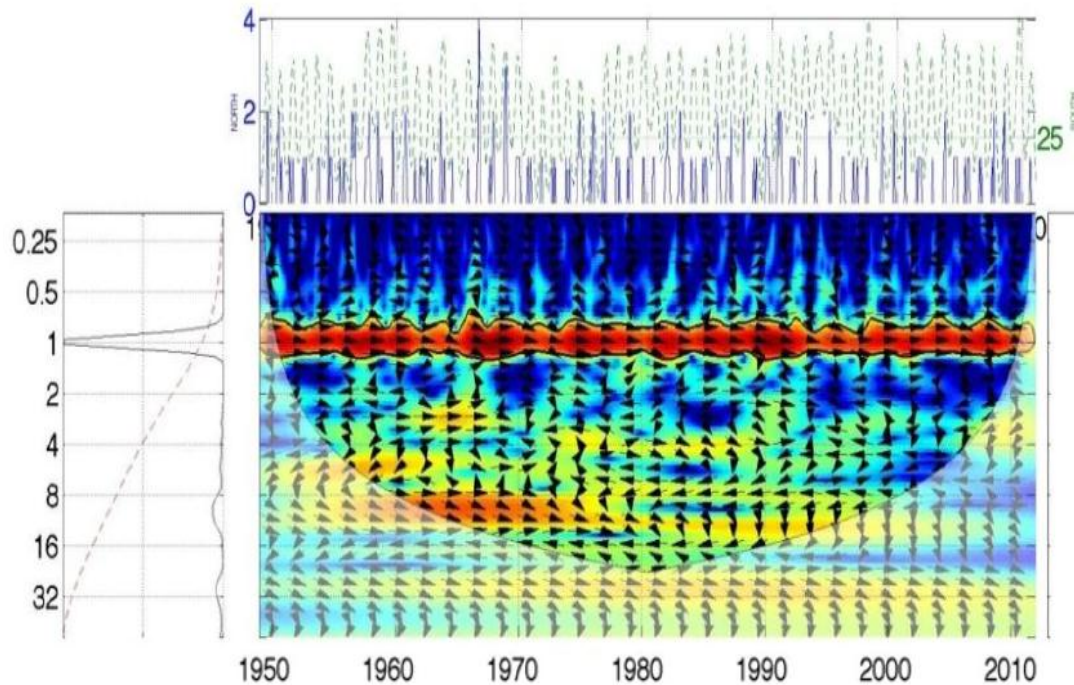


Fig. 23 Transformada Wavelet entre la (SST) y los *Huracanes Categoría Uno* del Pacífico Este

- En este espectro se observa una relación lineal entre los datos analizados en la periodicidad de un año, adicionalmente se resalta otra periodicidad de 9 años con una relación lineal de las series entre (1963 - 1975).

La figura 24 corresponde a los datos de temperatura superficial del océano (SST) en los  $9^{\circ}$  y  $19^{\circ}$  de latitud norte y entre los  $-107^{\circ}$  y  $-131^{\circ}$  de longitud oeste.

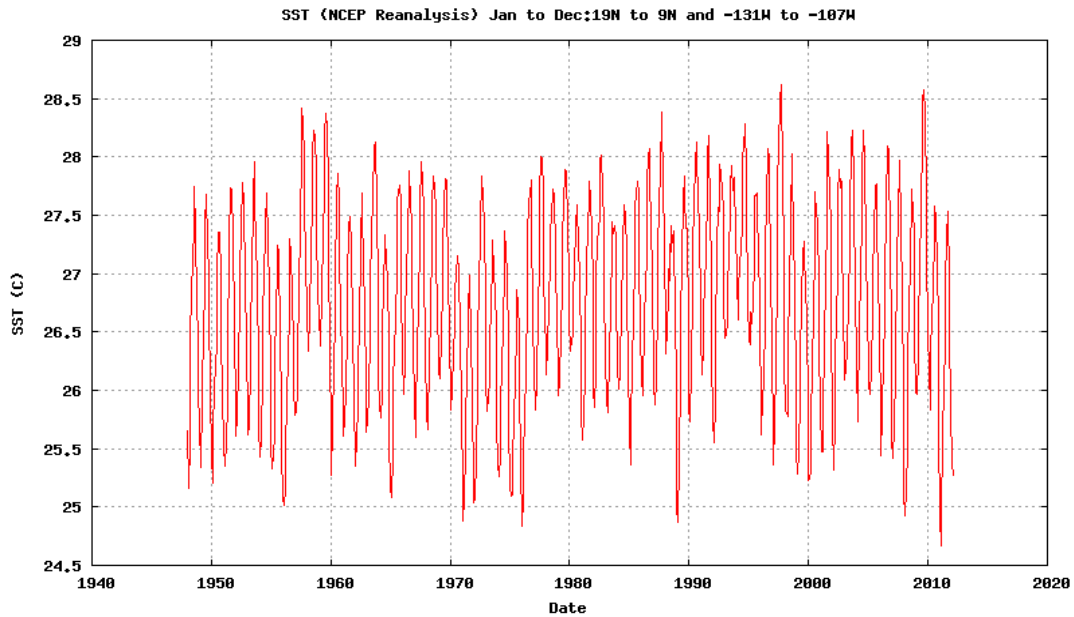


Fig. 24 Datos de Temperatura Superficial del Océano Pacífico (SST)

Se observa en esta gráfica los datos históricos de la (SST) del océano pacífico del este, desde 1949 hasta el año 2011, con un promedio de temperatura de  $26.7^{\circ}\text{C}$ , estos datos de temperatura corresponden a la zona este del océano pacífico, donde se registraron más huracanes de segunda categoría.

La figura 25 corresponde al espectro Wavelet Cruzado entre la (SST) mostrada en la figura 24, y los 68 huracanes categoría dos registrados en el océano pacífico este.

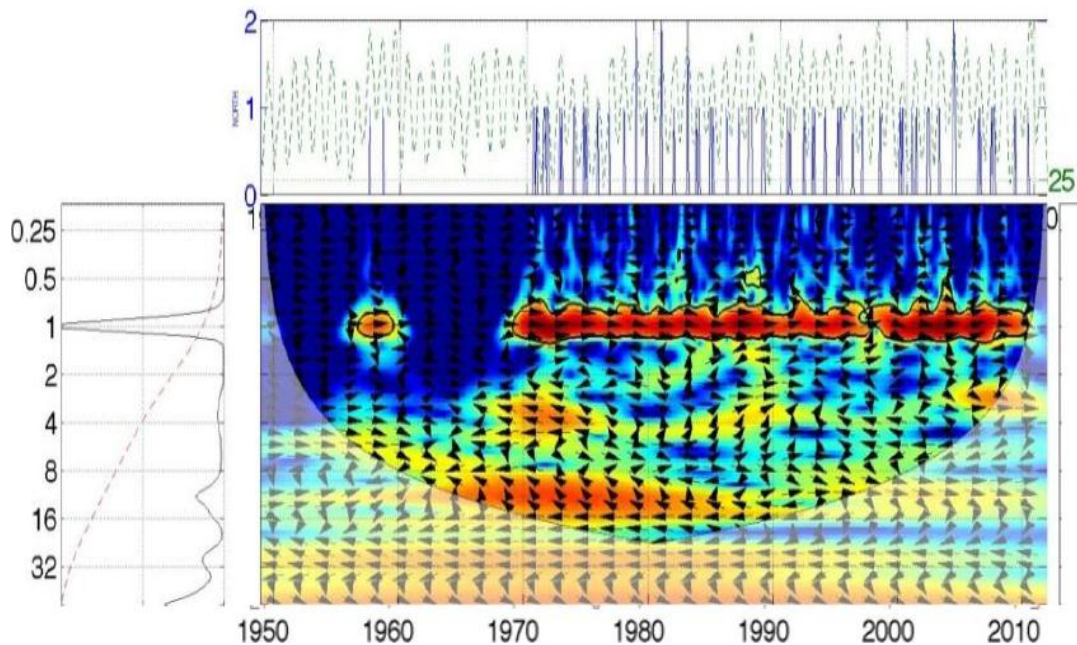


Fig. 25 Transformada Wavelet entre la (SST) y los *Huracanes Categoría Dos* del Pacífico Este.



En el espectro de la figura anterior se observa:

- una relación lineal de las fases de las dos series de datos analizados, además, se identifica la periodicidad de un año, como la más fuerte y la cual va casi constante desde el año 1968 hasta el 2011, estando antes del año 1968 casi inactivo el registro de huracanes categoría dos. De igual manera se logra identificar una periodicidad de 12 años dentro de este espectro.

La figura 26 corresponde a los datos de temperatura superficial del océano (SST) en los 9° y 18° de latitud norte y entre los -107° y -130° de longitud oeste.

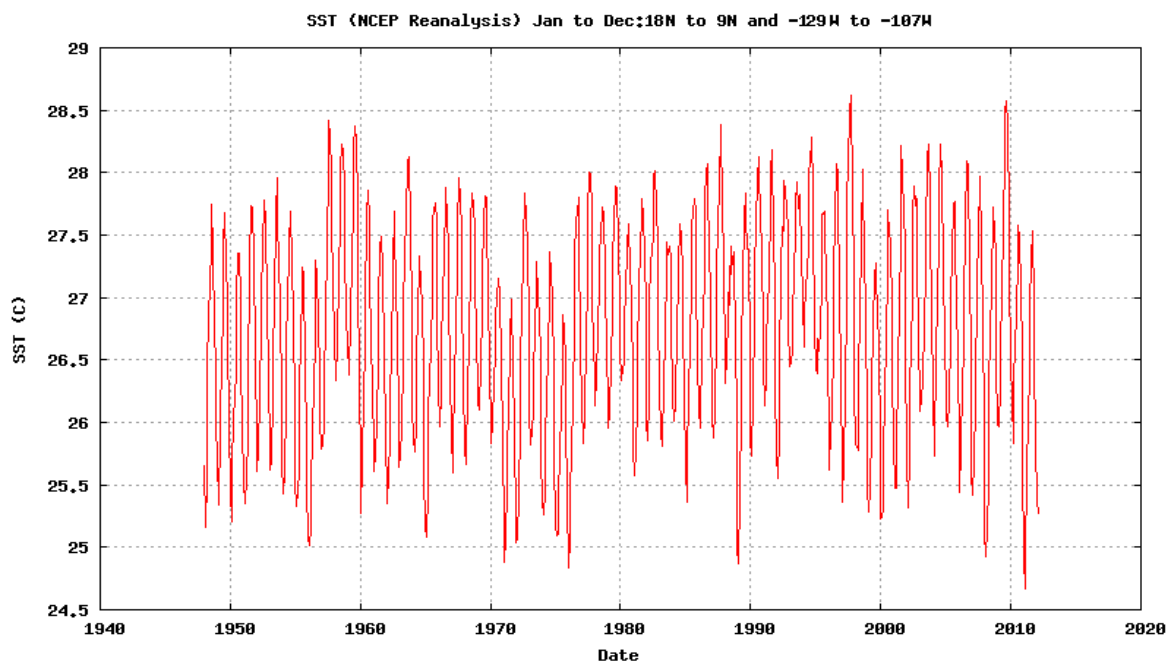


Fig. 26 Datos de Temperatura Superficial del Océano Pacífico (SST)

Se observan en esta gráfica, los datos históricos de la (SST) del océano pacífico del este, desde 1949 al año 2011, en donde el promedio de temperatura de esta porción del océano fue de 26.6°C. Estos datos de temperatura corresponden a la zona del océano pacífico donde se registraron más huracanes categoría tres.

La figura 27, corresponde al espectro Wavelet Cruzado entre la (SST) mostrada en la figura 26 y los 71 huracanes categoría tres registrados en el océano pacífico este.

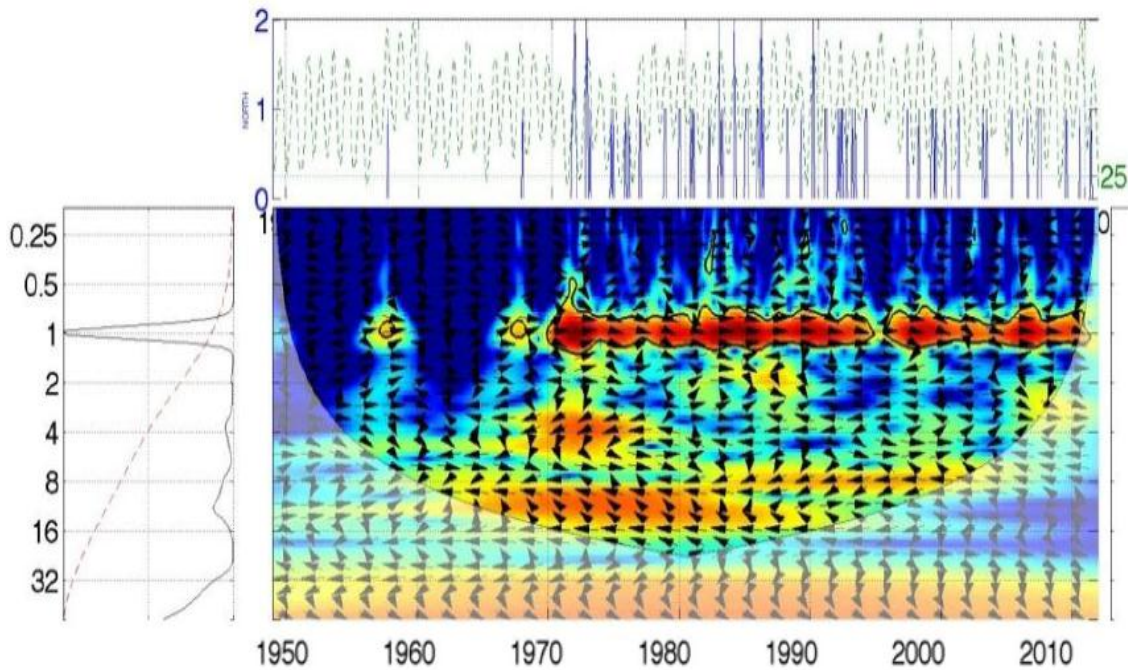


Fig. 27 Transformada Wavelet entre la (SST) y los *Huracanes Categoría Tres* del Pacífico Este

A partir del espectro de la figura 27:

- vemos que existe una correlación lineal entre las dos series de datos analizados, observando una periodicidad de un año que está entre (1970 – 1993) y (1997 – 2011), de igual manera se identifican dos períodos en donde la actividad fue mínima, el primero, antes del años 1970 y el segundo entre (1994 – 1996), adicionalmente, se observa una pequeña periodicidad en 4 y en los 12 años.

La figura 28 corresponde a los datos de temperatura superficial del océano (SST), en los  $10^{\circ}$  y  $18^{\circ}$  de latitud norte y entre los  $-107^{\circ}$  y  $-129^{\circ}$  de longitud oeste.

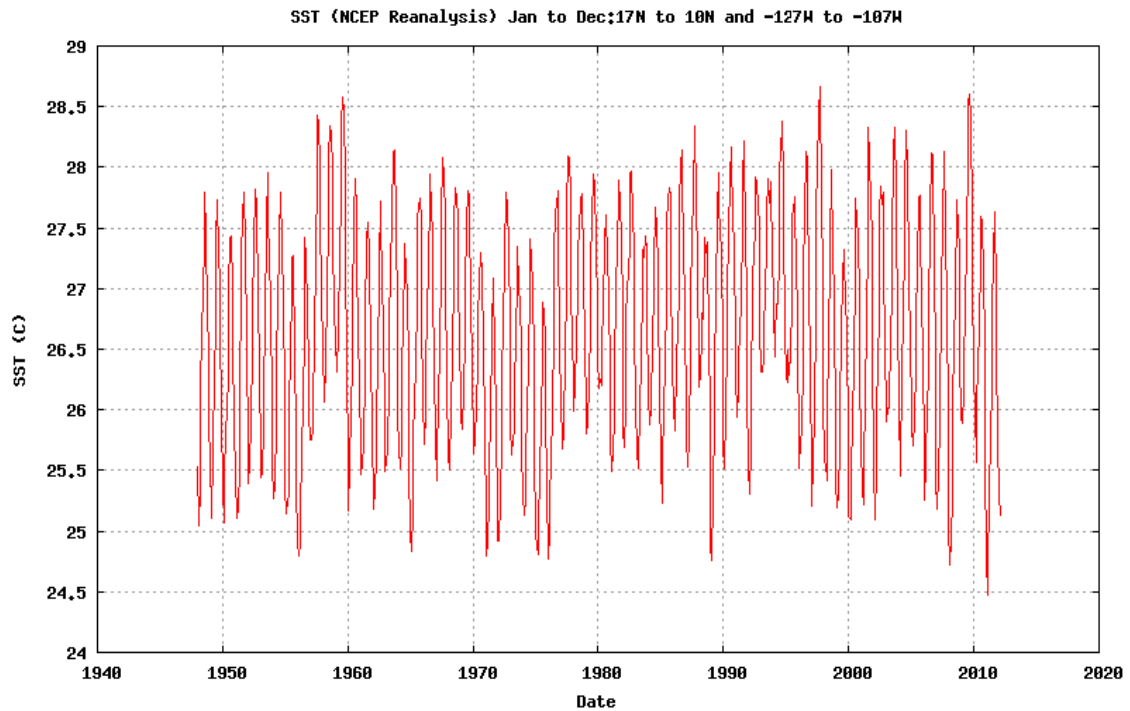


Fig. 28 Datos de Temperatura Superficial del Océano Pacífico (SST)

Se observa:

- en esta gráfica los datos históricos de la (SST) del océano pacífico entre (1949 - 2011), en donde se presentó un promedio de temperatura de  $26.7^{\circ}\text{C}$ . Estos datos de temperatura corresponden a la zona este del océano pacífico, donde se registraron más huracanes categoría cuatro.

La figura 29 corresponde al espectro Wavelet Cruzado entre la (SST) mostrada en la figura 28 y los 94 huracanes categoría cuatro registrados en el océano pacífico este.

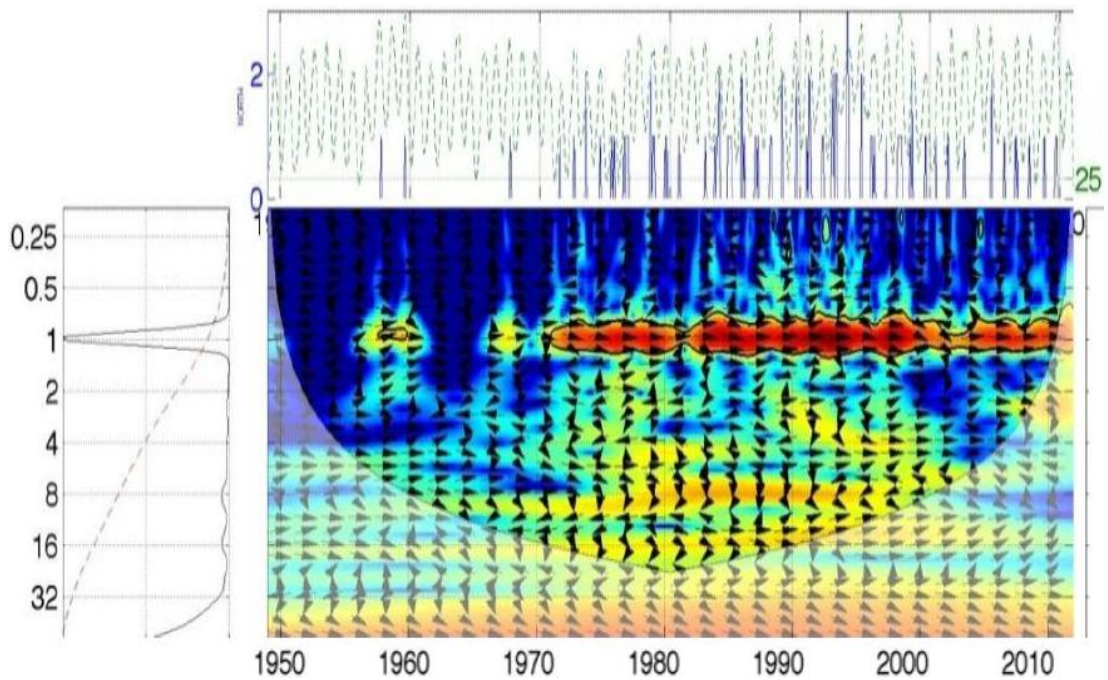


Fig. 29 Transformada Wavelet entre la (SST) y los *Huracanes Categoría Cuatro* del Pacífico Este

En el espectro de esta transformada se observa:

- una tendencia similar al espectro de la figura 27, donde se ve una energía constante y una relación lineal entre las series de datos analizados desde el año 1970 hasta el 2011, con la concentración de energía más alta en un período anual.

La figura 30 corresponde a los datos de temperatura superficial del océano (SST) en los 12° y 17° de latitud norte y entre los -107° y -120° de longitud oeste.

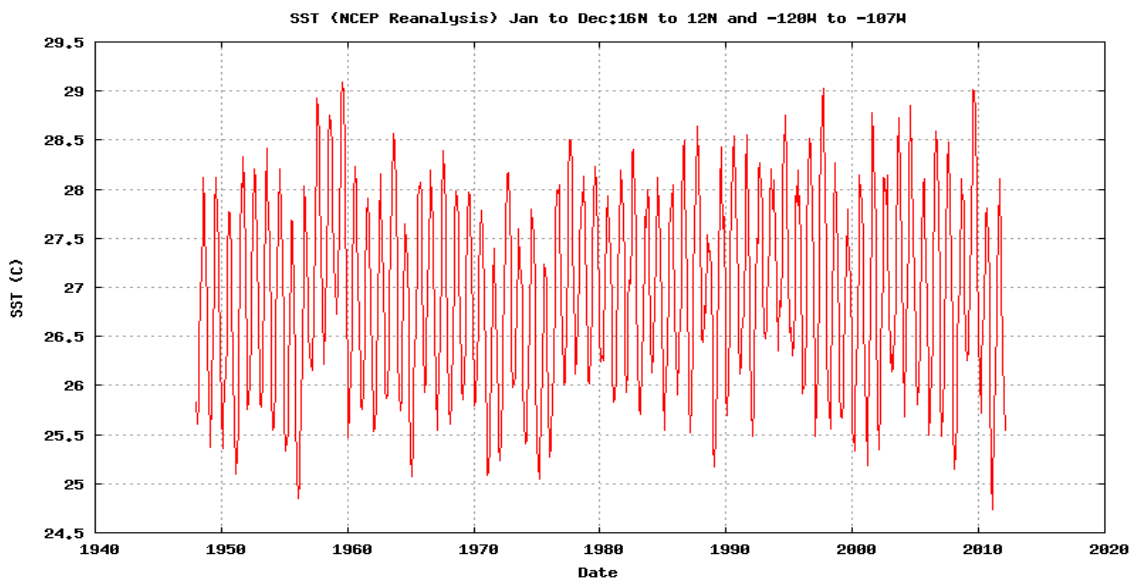




Fig. 30 Datos de Temperatura Superficial del Océano Pacífico (SST)

Estos datos de temperatura corresponden a la zona donde se registraron más huracanes categoría cinco sobre el océano pacífico, de igual manera se identifica un pico máximo local de temperatura en  $29.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , y un pico mínimo local en  $24.7\text{ }^{\circ}\text{C}$  y se tiene un promedio de temperatura de  $26.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

La figura 31 corresponde al espectro Wavelet Cruzado entre la (SST) observado en la figura 30 y los 17 huracanes categoría cinco registrados en el océano pacífico este.

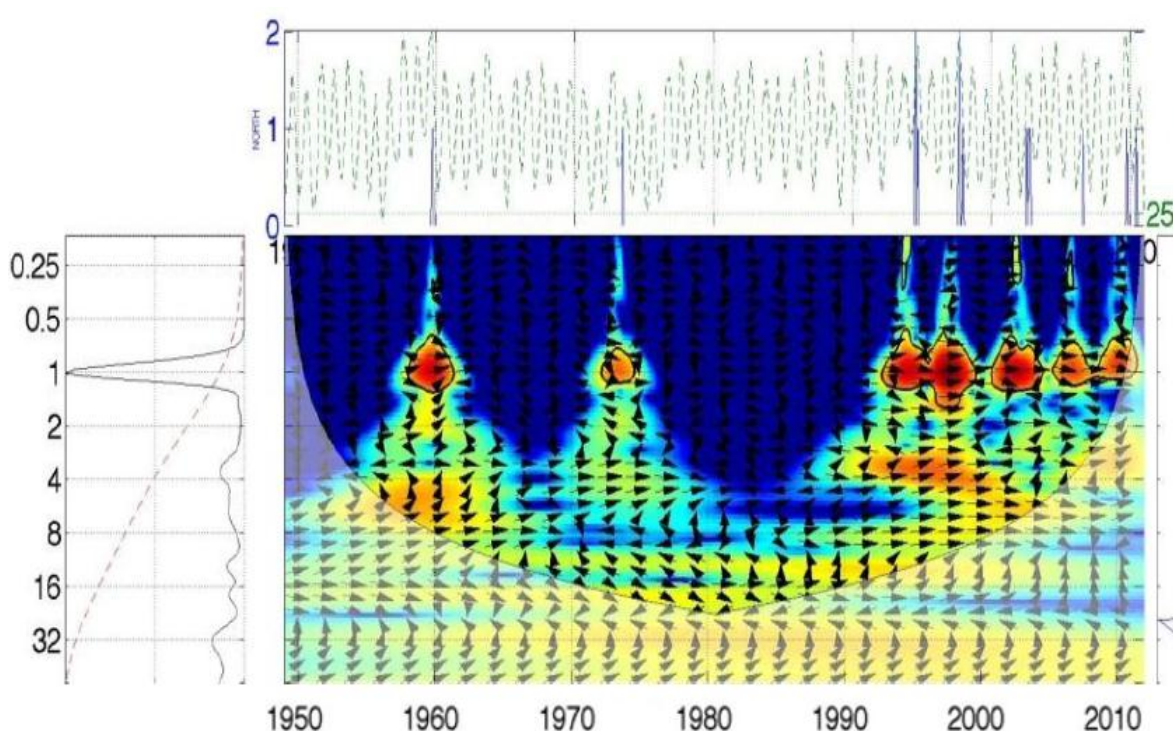


Fig. 31 Transformada Wavelet entre la (SST) y los *Huracanes Categoría Cinco* del Pacífico Este

En este espectro se observa:

- que las series de datos analizadas se encuentran en fase en la periodicidad más importante, la cual es de un año, además se ve que a partir de mediados de los noventa, es donde se presenta una mayor actividad de los huracanes de esta categoría. De igual forma vemos, aparte de una periodicidad anual, otra de 3.8 años y que en este período entre las series no existe una relación de fases.

#### 4.5 Aplicación de la Función de Densidad de Probabilidad (PDF) y de la Función de Distribución Acumulativa (CDF), a los Valores de Velocidades del Viento de los Huracanes del Océano Pacífico.

En las figuras que se muestran a continuación, se expresa la *Función de Densidad de Probabilidad* (PDF) de los valores de la velocidad de los vientos de las diferentes categorías de huracanes, esto se hace con el fin de identificar para cada una de éstas categorías, cual es el valor(es) de la velocidad que tiene mayor probabilidad de ocurrir. Ésta se determina proyectando el valor de los picos máximos locales o globales de la (PDF) que se encuentra en la parte superior de la figura, sobre la *Función de Distribución Acumulativa* (CDF) que se encuentra en la parte inferior de la misma.

Dentro de éstas figuras se observan también, los intervalos de velocidades para cada categoría, así como la media aritmética de las mismas.

En la figura 32 se observa la función de densidad de probabilidad, de los huracanes categoría uno.

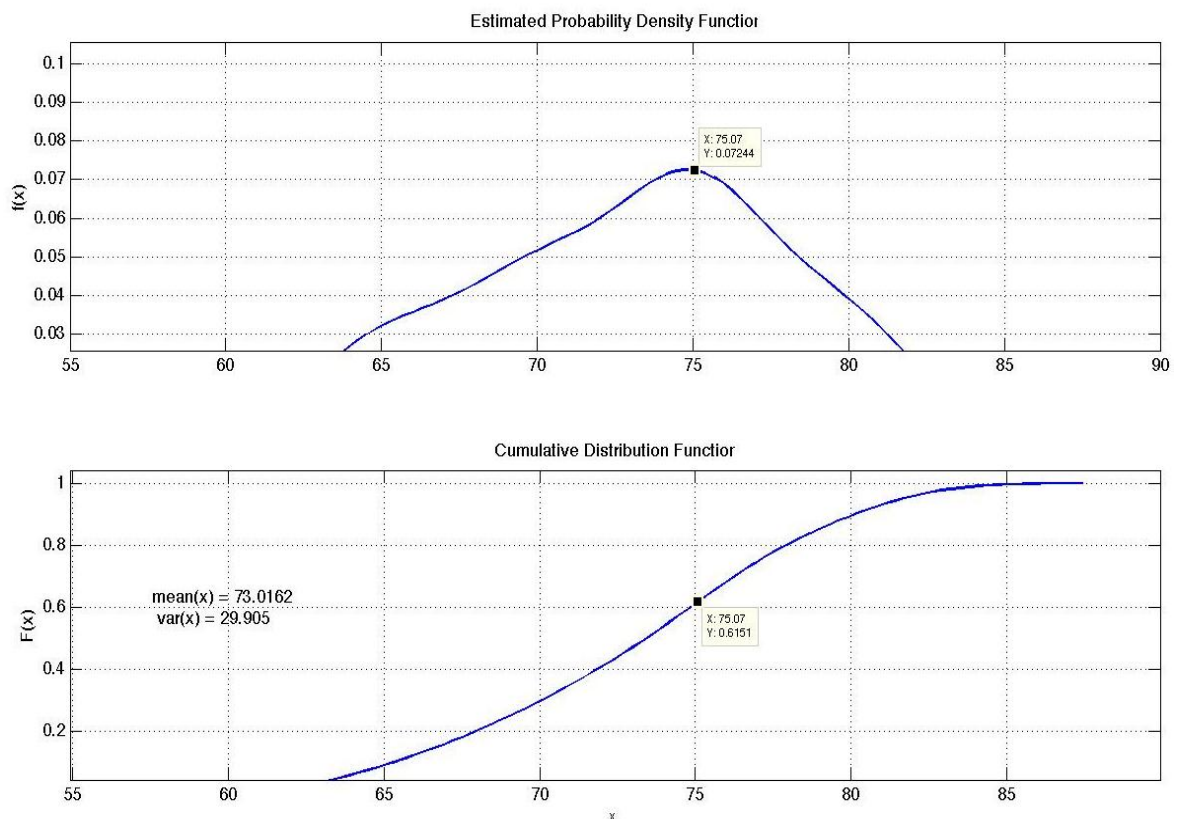


Fig. 32 PDF de la Velocidad de los Huracanes Categoría Uno.

En la gráfica de la parte superior se observa:

- la *Función de Densidad de Probabilidad* (PDF) para los huracanes categoría uno, en donde se ve que el valor máximo de velocidad, el cual tiene cerca del 60% de probabilidad de ocurrencia es de 75 nudos para los huracanes Categoría uno, también se identifica el rango de velocidades la cual esta entre los 64 y 82 nudos.
- En la parte inferior de la figura 32 se observa la *Función de Distribución Acumulativa* (CDF) la cual muestra que el valor promedio de la velocidad es de 73 nudos.

La figura 33 presenta la (PDF) y la (CDF) de la velocidad de los vientos de los huracanes categoría dos.

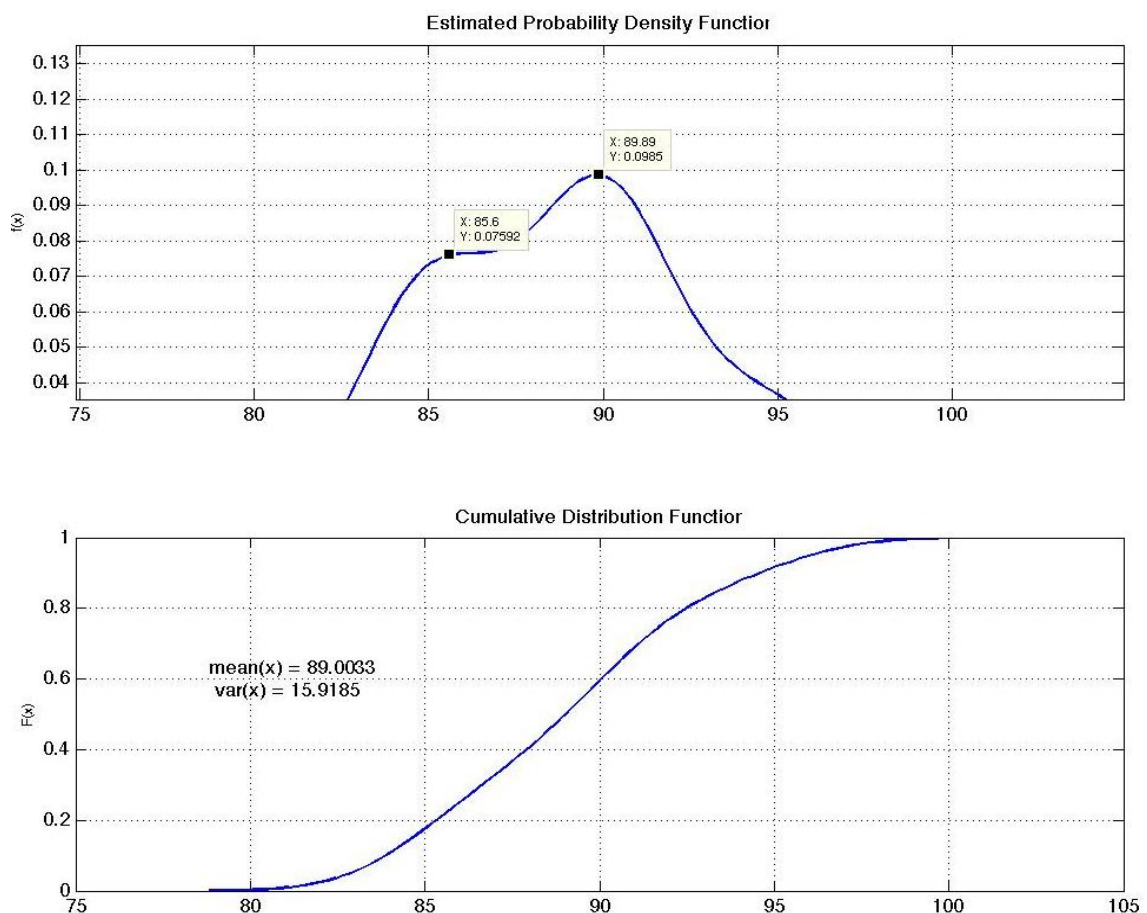


Fig. 33 PDF y CDF de la Velocidad de los Huracanes Categoría Dos.

En la gráfica de PDF (superior) se aprecian:

- dos picos locales máximos, el primero tiene un valor 85.6 nudos y posee una probabilidad de ocurrencia del 23%, mientras que el segundo pico local máximo tiene un valor de 90 nudos con una probabilidad de ocurrencia del 40%, también se observa que el rango de velocidades va desde 83 hasta los 95 nudos y que la media aritmética de los valores analizados es de 89 nudos.

La figura 34 muestra la *Función de Densidad de Probabilidad* y la *Función de Distribución Acumulativa* de las velocidades de los huracanes categoría tres.

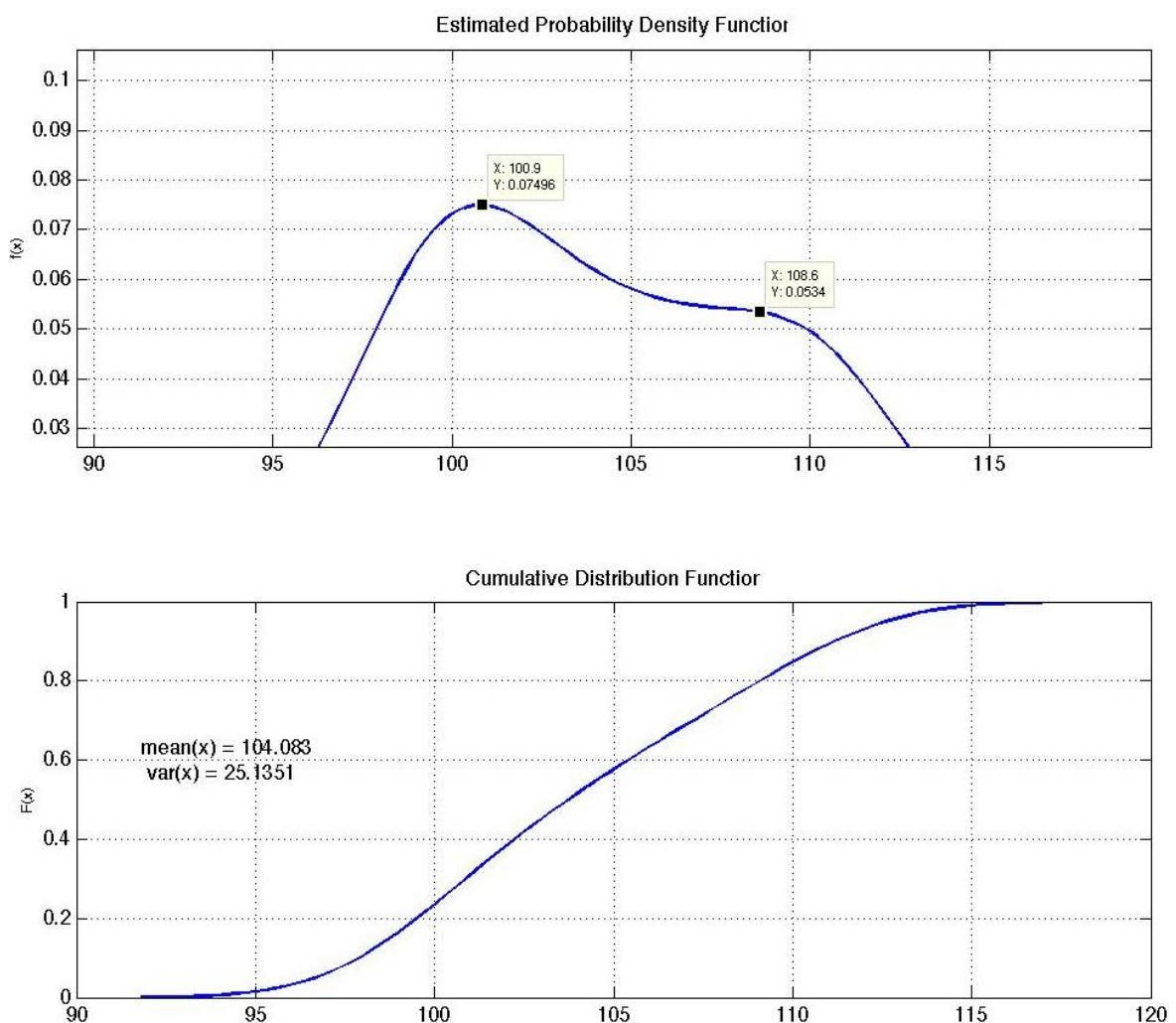


Fig. 34 PDF y CDF de la Velocidad de los Huracanes Categoría Tres.

En la parte superior de la figura 34 vemos:

- la gráfica de la (PDF), en donde se observan dos picos máximos locales el primero con un valor de velocidad de 101 nudos y una probabilidad de ocurrencia del 38% aproximadamente,



mientras que el segundo marca un valor de velocidad de 109 nudos y tiene una probabilidad de ocurrencia de cerca del 42%, esta Categoría posee un rango de velocidad que va desde 96 hasta 112 nudos y tiene una valor promedio de 104 nudos.

La gráfica de la figura 35, muestra la (PDF) y la (CDF) de las velocidades de los huracanes categoría cuatro y el valor promedio de dichas velocidades.

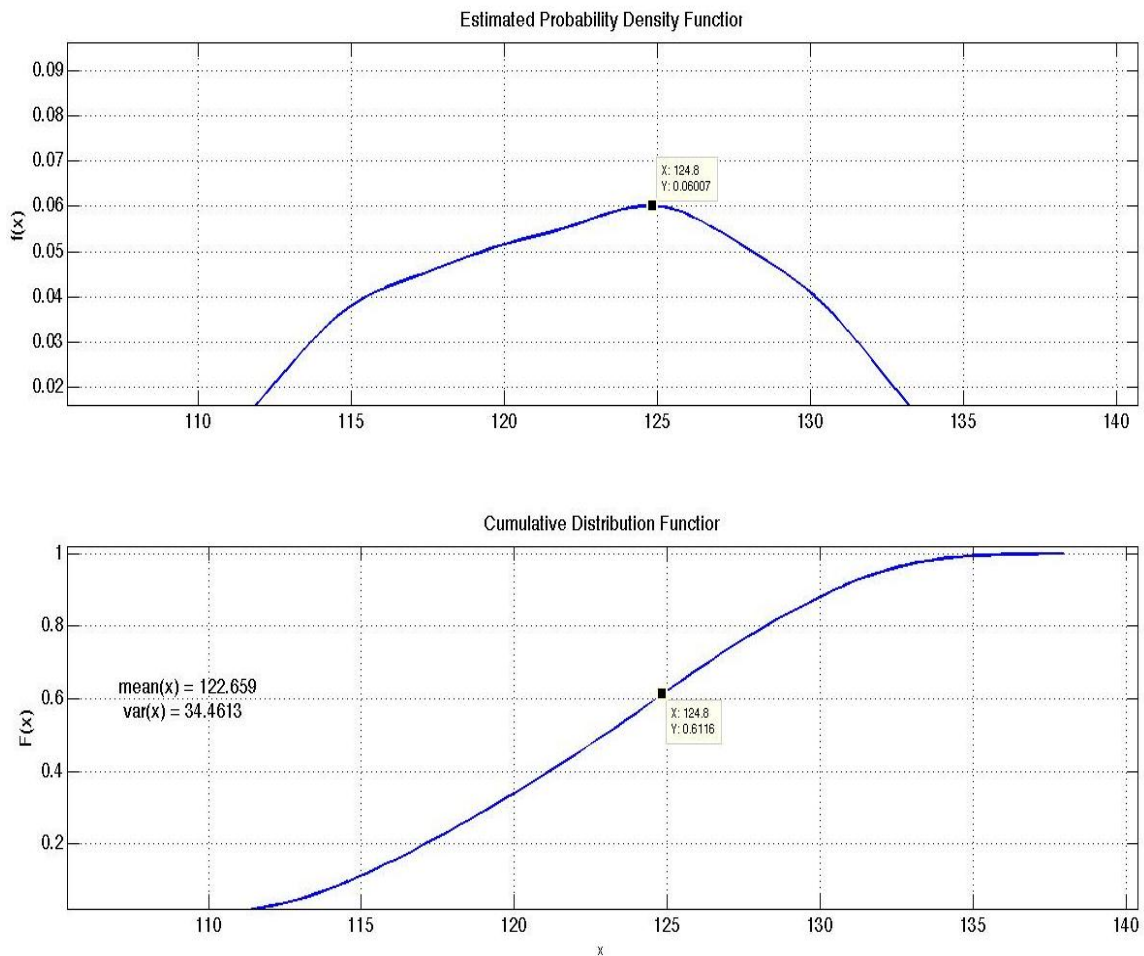


Fig. 35 PDF y CDF de la Velocidad de los Huracanes Categoría Cuatro.

En la gráfica:

- De la *Función de Densidad de Probabilidad* se identifica claramente que el valor máximo de velocidad para los huracanes Categoría cuatro es de 125 nudos, y que posee una probabilidad de ocurrencia del 61%.

- Se observa también que el rango de velocidad de los vientos esta entre 113 y 134 nudos y que la media aritmética de la misma es de 122.6 nudos.

La gráfica de la figura 36, muestra la (*PDF*) y la (*CDF*) de las velocidades de los huracanes categoría cinco y el valor promedio de dichas velocidades.

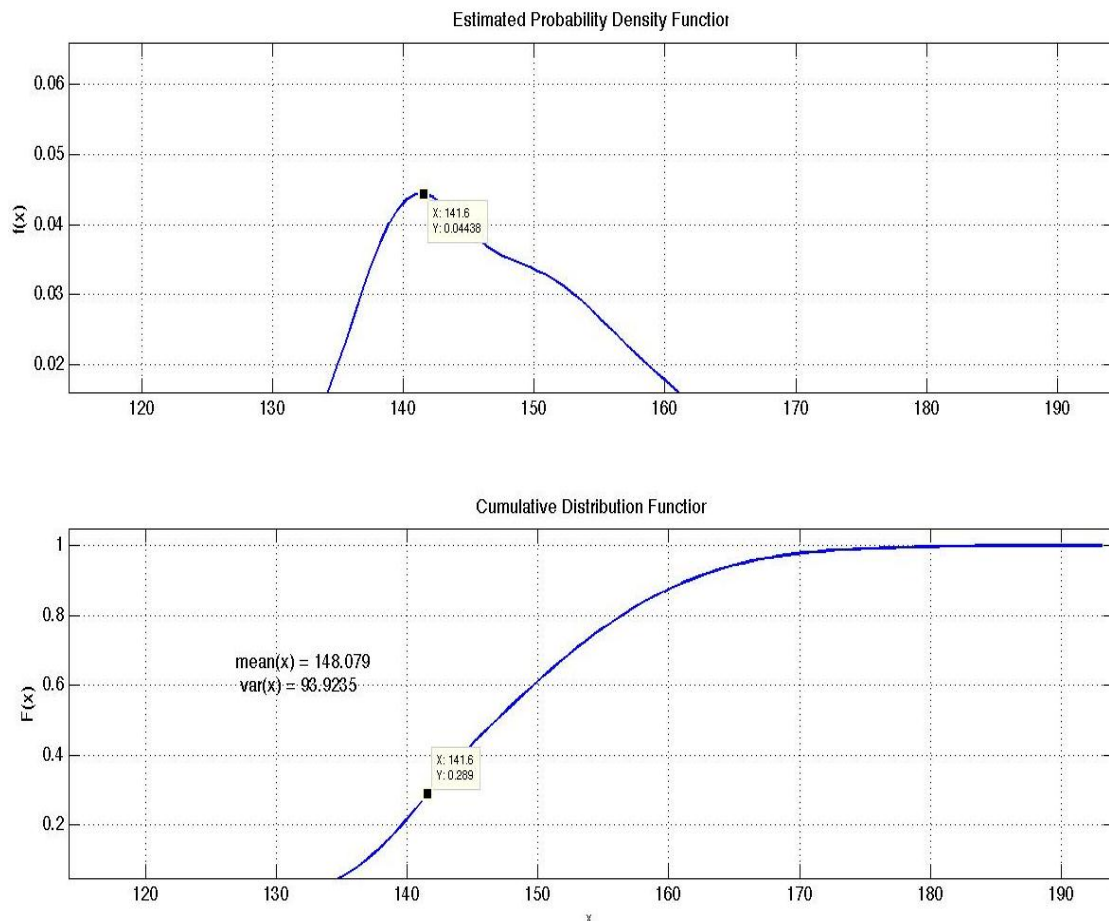


Fig. 36 PDF y CDF de la Velocidad de los Huracanes Categoría Cinco.

En la gráfica:

- De la *PDF* se ve que el pico máximo posee un valor de 141 nudos y que tiene una probabilidad de ocurrencia del 29% aproximadamente, de igual manera observamos que el valor promedio es de 148 nudos y que tiene un rango velocidades entre 135 y 163 nudos.

Finalmente, la figura 37 muestra la *Función de Densidad de Probabilidad* y la *Función de Distribución Acumulativa* del ENSO (*El Niño Southern Oscillation*).

Es importante establecer que el ENSO es la combinación de SO que es la sigla de (*Southern Oscillation*), la cual hace referencia a la alternación de la presión atmosférica entre el océano pacífico occidental y oriental, así como el debilitamiento de los vientos sostenidos y el aumento de la nubosidad sobre la zona intertropical del pacífico, mientras que EN (El Niño), hace referencia a la variación de la temperatura superficial del océano. Como estos valores están correlacionados entre si, los términos se combinan por lo que se crea el ENSO, en donde la fase caliente del ENSO se utiliza para describir al Niño y la fase fría del ENSO, para describir a la Niña.

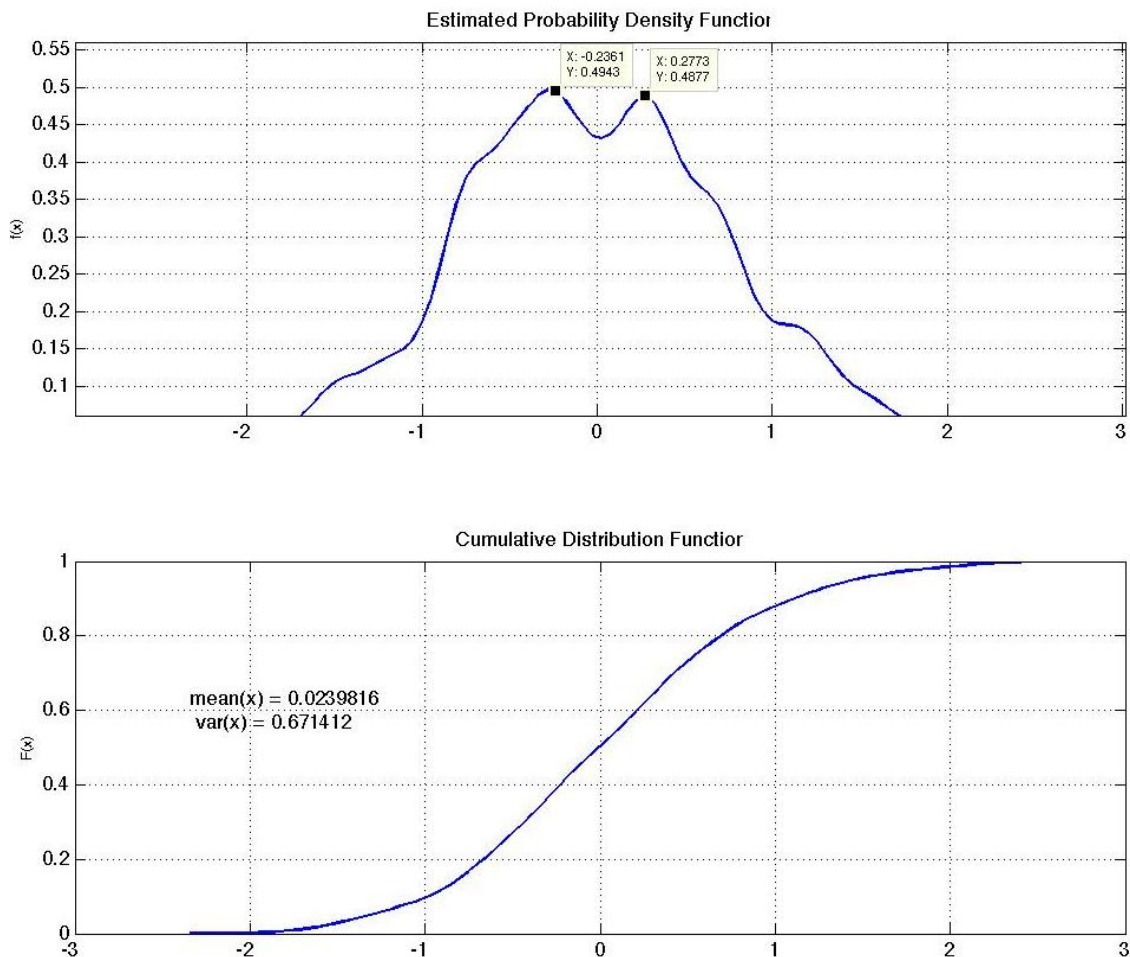


Fig. 37 PDF y CDF del ENSO.

En la *Función de Densidad de Probabilidad* de *El Niño Oscilación Sur* (ENSO) se ve que la gráfica es casi simétrica con respecto al origen, se identifican dos picos máximos locales en  $-0.236$  y  $0.277$

respectivamente, los valores positivos representan la intensidad del niño, mientras que los negativos la intensidad del fenómeno de la niña. Teniendo en cuenta su proyección sobre la gráfica de la *Función de Distribución Acumulativa* podemos afirmar que cada rango de valores tiene un 50% de probabilidad de ocurrencia mientras, es decir que la probabilidad de que ocurra un niño o una niña es del 50%.

#### 4.6 Análisis Wavelet entre El Niño Oscilación Sur (ENSO) y el Número de Huracanes Ocurridos en el Océano Pacífico.

En esta sección se realizó el análisis de la *Transformada Wavelet Cruzada (XWT)* entre el ENSO y el número de huracanes ocurridos en el océano pacífico, desde 1950 hasta 2011, ya que son las fechas desde y hasta donde se tiene registro, esto se hace con la intención de ver si hay una correlación entre estos dos fenómenos climáticos.

El análisis se llevó a cabo, haciendo las (XWT) del ENSO con el número de huracanes que se generaron en el océano pacífico en las diferentes categorías.

La figura 38 muestra la Transformada wavelet Continua de los valores del ENSO.

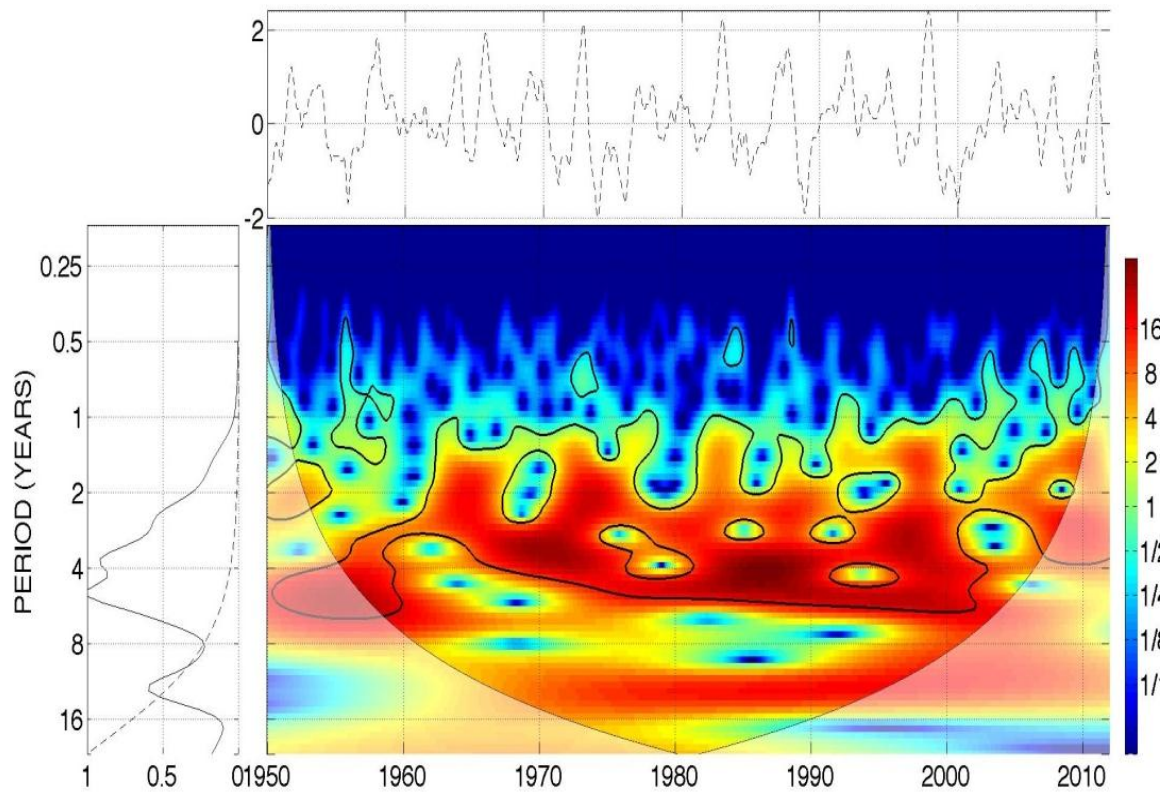


Fig. 38 CWT (*Transformada Wavelet Continua*) del ENSO

En la parte superior de esta wavelet vemos:

- La oscilación al rededor del cero y la evolución de los datos del ENSO desde el año 1950 hasta el año 2011, de igual manera se logra identificar dentro del cono de influencia, que la periodicidad que posee mayor energía se encuentra ente 3.8 y 5 años, y que existe otra con menor intensidad, aproximadamente, en 12 años.

La siguiente imagen es la (XWT), entre los datos del ENSO y el número de huracanes categoría uno ocurridos en el océano pacífico.



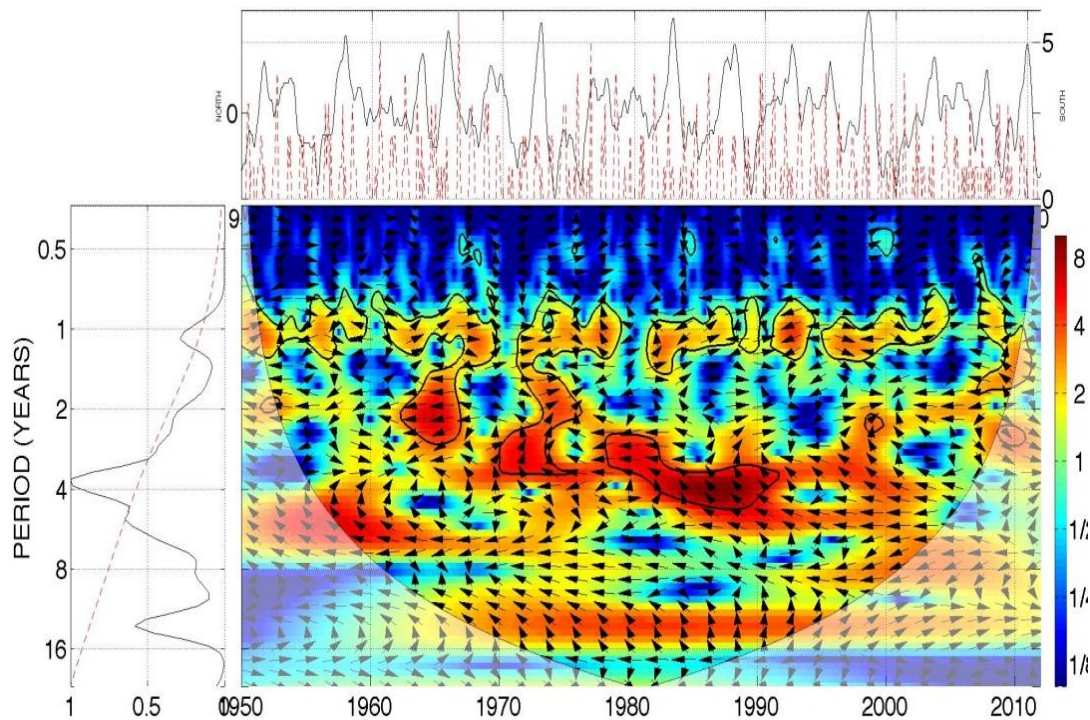


Fig. 39 XWT Entre el ENSO y el Número de Huracanes Categoría Uno

En esta gráfica se observa:

- En la parte superior, la evolución de las dos señales a lo largo del tiempo, también se aprecia en la wavelet global, que la periodicidad más alta se encuentra en cuatro años, así como también se identifica una periodicidad en uno, en dos, en seis y en quince años, aproximadamente.
- Con respecto a la relación de fases entre las señales, se puede decir que entre los años 1962 y 1967, en el período de dos años, las señales se encuentran en anti-fase.

También entre los años 1978 y 1982, en el período de cuatro años, se tienen a las series en anti-fase. A partir del año 1985 hasta el 2003, en la periodicidad de seis años, las series de datos se encuentran en anti-fase y en el resto del tiempo, las dos series están fuera de fase en las periodicidades identificadas más importantes, es decir, no se identifica una relación entre ellas.

La figura 40 expresa la (XWT) entre el ENSO y el número de huracanes categoría dos en el océano pacífico.

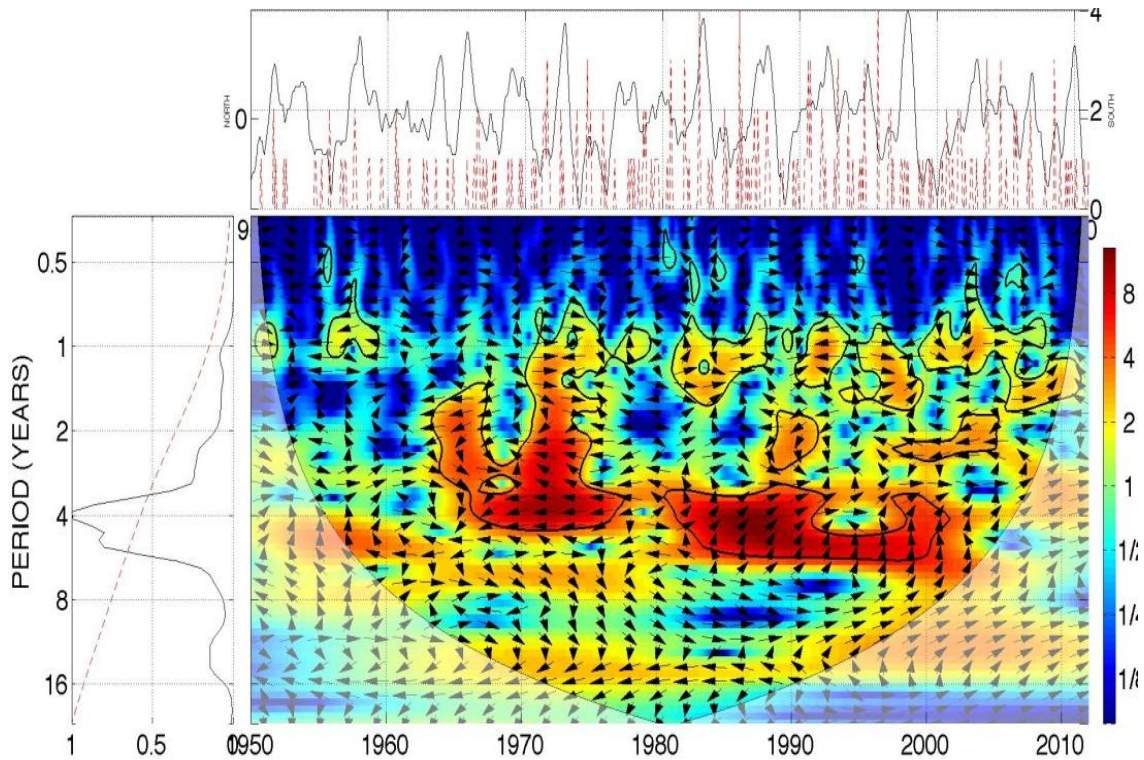


Fig. 40 XWT Entre el ENSO y el Número de Huracanes Categoría Dos

En esta gráfica se observa:

- Que la mayor energía está entre un período de 4 a 5 años, y se ven otras periodicidades de 2.5 y entre 9 y 14 años aproximadamente. Con respecto a la relación de fases entre ambas series, se ve que en el período de 4 años, entre 1968 y 1978, las series estaban en anti-fase.
- Entre en el período comprendido entre 10 y 14 años, entre el año 1973 y 1990, también estuvieron en anti-fase, y en el período de 9 años se identifica una relación de fases de las series de datos entre (1995 - 2011). En el resto del tiempo las dos señales están fuera de fase en las periodicidades más importantes, es decir, que no hay relación entre ellas.

La figura 41 expresa la relación entre el ENSO y los huracanes categoría tres en el océano pacífico.



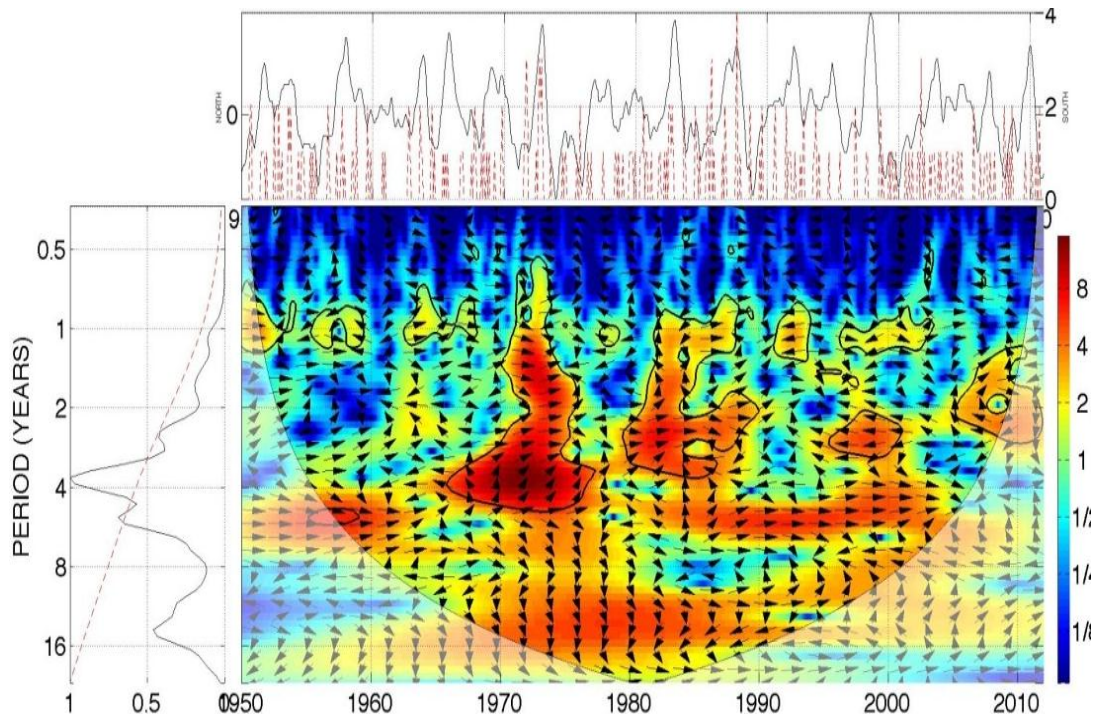


Fig. 41 XWT Entre el ENSO y el Número de Huracanes Categoría Tres

En la gráfica se observa:

- Que la periodicidad que tiene la mayor energía, está en 3.9 años, le sigue la de 6 años, luego la de 15.8 años y finalmente, la de 2.5 años, aproximadamente. En cuanto a la relación de fases, se observa que en el período de 2.5 años, entre (1970 - 1975) y entre (1980 - 1989), las señales se encuentran en fase, y entre (1995 - 2001) están en anti-fase.
- Se observa también, que en el período de 6 años las series de datos estuvieron en fase desde (1950 - 1962) y entre (1988-2004). Para las demás periodicidades encontradas, se observa que las series se encuentra fuera de fase entre si, es decir, no hay relación entre ellas.

La figura 42 expresa la relación entre los huracanes categoría cuatro y el ENSO.



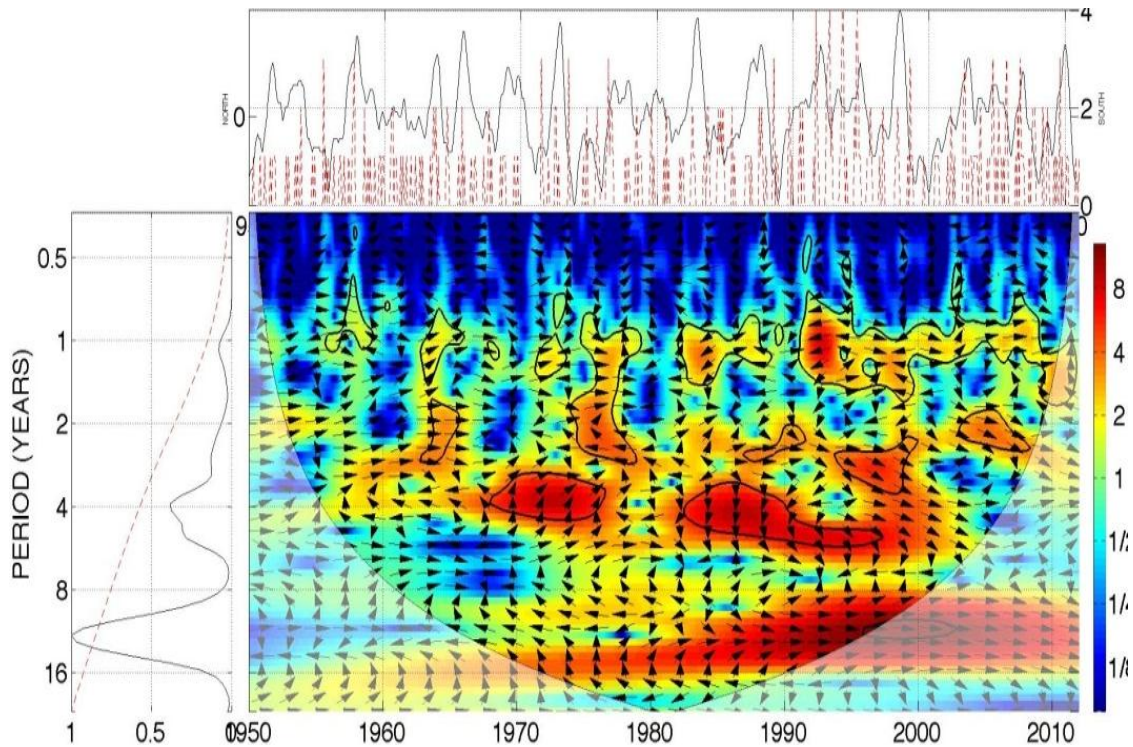


Fig. 42 XWT Entre el ENSO y el Número de Huracanes Categoría Cuatro.

En esta gráfica, se observa:

- Que la energía más alta la tiene el período de 12 años y que le sigue otro entre 4 y 5 años. Con respecto a la relación de fases entre las series de tiempo analizadas, se ve que para el período de 12 años entre (1985 - 2011), existe una relación de fases entre las dos series de datos, lo que nos indica que a partir del año 1985 hubo una relación lineal entre el ENSO y el número de huracanes categoría cuatro en el océano pacífico.

Finalmente, la figura 43 muestra la XWT entre el número de huracanes categoría cinco y el ENSO.

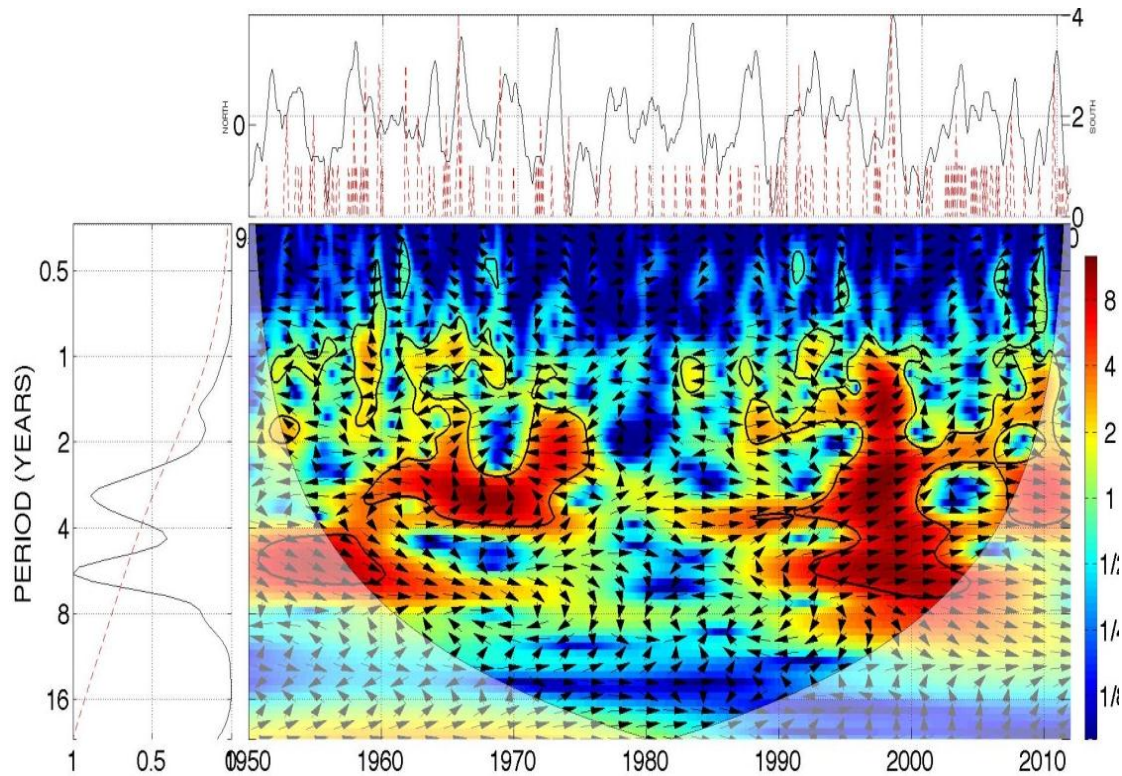


Fig. 43 XWT Entre el ENSO y el Número de Huracanes Categoría Cinco.

A partir de la gráfica de la *Transformada Wavelet Cruzada* de la figura anterior, se logran identificar:

- Las dos periodicidades más importantes, la primera que se encuentra en un período de 3 años y la segunda, en un período de 6 años, respectivamente. En cuanto a la relación de fases, podemos decir que para el período de 3 años, las series de datos se encuentran en fase dentro del cono de influencia, entre los años (1985 - 2002) y por fuera entre los años (2008 - 2011), mientras que para el período de 6 años vemos una relación de fases entre los años (1950- 1966) y nuevamente los años (1993 - 2007). A partir de este análisis podemos inferir que dentro de los rangos de tiempo identificados, hubo una relación lineal entre el ENSO y el número de huracanes categoría cinco.

# CAPÍTULO 5 RESULTADOS Y CONCLUSIONES

## 5.1 Resultados.

A partir del análisis de las bases de datos realizado en el capítulo anterior se obtuvieron los siguientes resultados:

1. Con la elaboración de este trabajo de investigación, se logró la identificación de las zonas en el océano pacífico donde más se generan tormentas y depresiones tropicales y huracanes de todas las categorías. Siendo identificada la zona oeste del océano pacífico, como el lugar donde se forman el mayor número de estos fenómenos climáticos.

Además se identificó que las costas Mexicanas de los estados de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero y parte de Oaxaca, así como también, países como Guatemala y el Salvador, son los mas afectados directamente en la zona centro – norte del continente americano.

2. Gracias al procesamiento de los datos se identificaron las periodicidades más importantes de cada una de las categorías de los huracanes de la escala Saffir – Simpson tanto en las costas americanas como en el océano pacífico en general. A partir del análisis hecho aplicando la Transformada Wavelet Cruzada por categorías entre el número de huracanes y la velocidad de los vientos, se puede concluir que en el océano pacífico anualmente tienden a formarse huracanes de todas las categorías de la escala Saffir - Simpson.
3. Se determinaron los valores de la probabilidad natural de la velocidad del viento para cada categoría de huracanes, así como la velocidad media de cada una, a partir de la *Función de Densidad de Probabilidad*, y de la *Función de Distribución Acumulativa*, esta información no ayuda a entender mejor el comportamiento de estos fenómenos climáticos.
4. Se identificó, a partir de las gráficas wavelets obtenidas como resultado del procesamiento de los datos, que existe una

profunda correlación entre el ENSO y la *Temperatura Superficial Oceánica* (SST), con el número de huracanes que se forman frente a las costas mexicanas, y en todo el océano pacífico.

5. A partir de la graficación de las coordenadas geográficas de todos los huracanes que se formaron en los últimos 66 años en el océano pacífico, se puede concluir que; frente a las costas del continente asiático se creó la gran mayoría de los huracanes registrados en el periodo de tiempo analizado, por ende se puede afirmar que en esta zona del océano pacífico es donde más convergen las variables que permite la formación de estos eventos climáticos.
  
6. Finalmente se resalta la importancia de la aplicación de la transformada wavelet dentro del procesamiento, ya que a partir de innumerables datos que a simple vista no aportan mucho, se puedan obtener información relevante de fenómenos climáticos tan complejos e impredecibles como los huracanes. La información contenida en el capítulo 3, nos permitirá entender mejor el comportamiento de estos fenómenos climáticos

## 5.2 Conclusiones Generales del Proyecto.

A partir de los objetivos planteados en el primer capítulo de este proyecto de investigación, se concluye que fueron cumplidos:

Se determinó la distribución sobre el océano pacífico de todos los eventos climáticos (Depresiones tropicales, tormentas tropicales y huracanes) ocurridos en los últimos sesenta y seis años.

Los resultados importantes de este trabajo fue que por primera vez:

Se identificó, la relación existente entre el fenómeno de El Niño Oscilación Sur (ENSO) y la Temperatura Superficial Oceánica (SST), con los huracanes que se formaron en la zona este del océano pacífico.

Se encontraron los periodos de formación de todos los huracanes de las diferentes categorías de la escala de medición Saffir – Simpson,

y finalmente se establecieron los valores de la velocidad del viento más probable de los huracanes de las diferentes categorías analizadas.

Referencias.

1. Bark, K., Lupo, A.R., Guinan, P.E., and Barbieri, C.E. (2010). The interannual variability of Midwestern temperatures and precipitation as related to the ENSO and PDO. *Atmosfera*, Vol. 23, 95 – 128.
2. Chatfield, C., *The Analysis of Time Series: An Introduction*. 4th Ed. Chapman and Hall, 241 pp, 1989.
3. Chan, J.C.L. (1995). Tropical cyclone activity in the western north Pacific in relation to the stratospheric Quasi- Biennial Oscillation, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 123, 2567– 2571.
4. Chan, J.C.L. and Liu, K.S. (2004). Global warming and western North Pacific typhoon activity from an observational perspective. *J. Climate*, Vol. 17, 4590 – 4602.
5. Churchuill, Ruel. (1978) "Series de Fourier y Problemás de Contorno". McGraw – Hill,.
6. Collins, J.M. (2007). The relationship of ENSO and relative humidity to interannual variations of hurricane frequency in the North-East Pacific Ocean. *Papers of the Appl. Geog. Conf.*, Vol. 30, 324-333.
7. Daubechies, I. (1990), The wavelet transform time-frequency localization and signal analysis. *IEEE Trans. Inform. Theory*, **36**, 961–1004.
8. Daubechies, I. (1992), "Ten Lectures on Wavelets". The Society for Industrial and Applied Mathematics.
9. Deser, C., and Phillips, A.S. (2006). Simulation of the 1976/1977 climate transition over the North Pacific: Sensitivity to Tropical Forcing. *J. Clim*, Vol. 19, 6170 – 6180.
10. Deser, C., Capotondi, A., Saravanan, A.R., and Phillips, A.S. (2006). Tropical Pacific and Atlantic climate variability in CCSM3. *J. Clim*, Vol. 19, 2451 – 2481.
11. Elsner, J.B., Kara, A.B., and Owens, M.A. (1999). Fluctuations in North Atlantic hurricane frequency. *J. Clim*, Vol. 12, 427 – 437.
12. Emanuel, K. (2005). Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature*, Vol. 436, 686.
13. Enfield D. B. and Mestas-Nuñez, A.M. (1999). Multiscale variabilities in global sea surface temperatures and their relationships with tropospheric climate patterns. *J. Clim*. Vol. 12, 2719-2733.
14. Farge, M. (1992), Wavelet transforms and their applications to turbulence. *Annu. Rev. Fluid Mech.*, **24**, 395–457.
15. Gershanov, A., and Barnett, T.P. (1998). Interdecadal modulation of ENSO teleconnections. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, Vol. 79, 2715 - 2725.

16. Gray, W. M. (1968). Global view of the origin of tropical disturbances and storms. *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 96, 669– 700
17. Gray, W.M., Sheaffer, J.D. and Landsea, C.W. (1997) Climate trends associated with multidecadal variability of Atlantic hurricane activity. *Hurricanes, Climate, and Socioeconomic Impacts*, 15 - 53. Springer, Berlin, H.F. Díaz and R.S. Pulwarty, Eds.
18. Henderson-Sellers, A., Zhang, H., Berz, G., Emanuel, K., Gray, W.M., Landsea, C.W., Holland, G., Lighthill, J., Shieh, S.L., Webster, P., and McGuffie, K. (1998) Tropical cyclones and global climate change: A post – IPCC assessment. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, Vol. 79, 19 – 38.
19. Grinsted, A., Moore, J.C., Jevrejeva, S. (2004) Application of the Cross Wavelet Transform and Wavelet Coherence to Geophysical Time Series
20. Jarvinen, B.R., Neumann, C.J., and Davis, M.A.S. (1984). A tropical cyclone data tape for the North Atlantic Basin, 1886 - 1983: Contents, limitations, and uses. NOAA Tech. Memo. NWS NHC 22, Coral Gables, Florida, 21 pp.
21. Sheng, Y. (1996), " The Transforms and Applications Handbook". CRC Press.
22. Torrence, C.; Compo, G. (1998), "A Practical Guide to Wavelet Analysis", Volumen 79, Number 1.
23. — — And P. J. Webster, (1998), The annual cycle of persistence in the El Niño–Southern Oscillation. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, in press.
24. Vetterli, M. y Kovacevic, J. (1995), "Wavelets and subband coding". Prentice Hall Signal Processing Series.
25. Wang, B., and Chan, J.C.L. (2002). How strong ENSO events affect tropical storm activity over the western north Pacific. *J. Clim.*, Vol. 15, 1643– 1658.
26. Weng, H., and K.-M. Lau, (1994), Wavelets, period doubling, and time-frequency localization with application to organization of convection over the tropical western Pacific. *J. Atmos. Sci.*
27. Webster, P.J., Holland, G.J., Curry, J.A., and Chang, H.R. (2005). Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment. *Science*, Vol. 309, 1844 - 1846.
28. Zarantonello, E. (1997), "Theory and application of Wavelets". Santa Clara University



## REFERENCIAS DE INTERNET

1. The-interannual-and-interdecadal-variability-in-hurricane-activity:  
<http://www.intechopen.com/books/recent-hurricane-research-climate-dynamics-and-societal-impacts/the-interannual-and-interdecadal-variability-in-hurricane-activity>
2. Obtención de bases de datos:  
<http://www.nhc.noaa.gov/?epac>
3. A practical guide to wavelet analysis:  
<http://paos.colorado.edu/research/wavelets/>
4. Cross wavelet and wavelet coherence:  
<http://www.pol.ac.uk/home/research/waveletcoherence/>
5. Cross wavelet and wavelet coherence (paper):  
<http://www.pol.ac.uk/home/research/waveletcoherence/download/npg-11-561.pdf>
6. Cross wavelet and wavelet coherence (example):  
<http://www.pol.ac.uk/home/research/waveletcoherence/example.html>
7. Obtención de base de datos ENSO:  
<http://www.elnino.noaa.gov/>  
<http://iri.columbia.edu/climate/ENSO/background/basics>.  
<http://iri.columbia.edu/climate/ENSO/globalimpact/overview/overview.html>
8. Obtención de base de datos ENSO:  
<http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/>  
<http://www.noaa.gov/research.html>  
[http://www.oar.noaa.gov/climate/t\\_elnino.html](http://www.oar.noaa.gov/climate/t_elnino.html)  
<http://iri.columbia.edu/climate/ENSO/background/basics>.  
<http://iri.columbia.edu/climate/ENSO/globalimpact/overview/overview.html>

