



**Universidad del Mar**

**Campus Puerto Ángel**

---

---

**Descripción espacio-temporal de la temperatura  
superficial del mar en el Pacífico Sur Mexicano de  
1996 a 2009.**

**Tesis**

**que para obtener el Título de Licenciado en Oceanología**

**Presenta**

**Laura Marcela Pérez Sampablo**

**Director de Tesis**

**Dr. Raúl Aguirre Gómez**

**Puerto Ángel Oaxaca, 2013.**

Puerto Ángel Oaxaca a Mayo de 2013.

M. en C. Francisco Javier Ulises Becerril Bobadilla  
JEFE DE LA CARRERA DE OCEANOLOGÍA  
UNIVERSIDAD DEL MAR  
P R E S E N T E

Después de haber analizado y evaluado la tesis “Descripción espacio-temporal de la temperatura superficial del mar en el Pacífico Sur mexicano de 1996 a 2009” que presenta la C. Laura Marcela Pérez Sampablo, le comunicamos que dicho documento cumple con los requisitos académicos para su impresión y defensa en el examen profesional correspondiente.

Atentamente



Dr. Raúl Aguirre Gómez

Director



Dr. Austreberto Cristóbal Reyes Hernández  
Revisor



Dra. María Auxilio Esparza Álvarez  
Revisor



M.A.I.A. Eduardo Juventino Ramírez Chávez  
Revisor



Ocean. Miguel Ángel Ahumada Sempoal  
Revisor

**DEDICATORIA**

---

*Con amor*

*A mis padres Marcelo y Trinidad*

*A mis hermanos Paul y Elena*

*A Cheleccita*

*Al Dador de la Vida*

## AGRADECIMIENTOS

---

Mi agradecimiento al Dr. Raúl Aguirre Gómez por, dirigir este trabajo y darme la oportunidad de realizarlo en el Laboratorio de Análisis Geoespacial (LAGE) de la UNAM, además por su amistad durante y después del desarrollo del trabajo.

A mis revisores Dr. Cristóbal Reyes Hernández, Dra. María Auxilio Esparza Álvarez, M.A.I.A. Eduardo Juventino Ramírez Chávez y Ocean. Miguel A. Ahumada-Sempoal como miembros de este jurado, gracias por sus correcciones y sugerencias a este trabajo siempre certeras.

A la Dra. María Auxilio Esparza Álvarez por las revisiones y recomendaciones a este trabajo sobre *coherencia*. Además por su ejemplo de filantropía y mi auxilio en todo momento. GRACIAS.

Por su tiempo, disposición de compartir sus conocimientos y enseñanza del programa WIM-WAM, le estaré agradecidísima, GRACIAS M. en C. Pedro Cervantes.

Mi agradecimiento al Dr. Andrés Sepúlveda por acercarme a esta línea de investigación, por su amistad y atención brindada, por él y su familia Sepúlveda-Delbury.

Al Dr. Sergio Cerderia, Dra. Olivia Salmerón y Dr. Jorge Prado, por las asesorías en la utilización de las imágenes de TSM utilizadas en éste trabajo.

Mi agradecimiento a los profesores de la UMAR que me impartieron clases, gracias por compartir sus conocimientos y experiencias.

A los integrantes de la carrera de Ingeniería Ambiental, que me brindaron apoyo durante la carrera y de los cuales aprendí, particularmente a Rosario Enríquez y Germán Anaya, GRACIAS.

Familia umareña, gracias por ser parte de mi felicidad, mi cariño para ustedes: Oziel, Ana, Yadira, Toño-rosita y Brenda Marlene.

Así mismo mi cariño y agradecimiento a Ernes, Tech, Roció, Solere, Momis, Lluvia, Pris, Rugerio, Escudero, Sandra, Lalito Huerta, Shamir, Julián Vidal, Peladito, Tino, Fernando, Erick Alan, José (xoxo), Elder y Mauro.

A la familia LAGE su compañía, palabras de aliento y amistad durante y después de mi estancia en el D. F. Se les agradece chicos: Miriam, Aarón, Reno, Tali, Karina, Lalo, Marco Vega, Ñeñe,

Rogelio, René ranitas, Alejandro Arif, Olivia y Jorge Prado, el más joven de la pandilla, pues realmente “*esta vida no es seria*”.

A la pandilla mochilera y no mochilera, por compartir sus experiencias en las montañas y fuera de ellas, gracias: Gil, Kuni, Laura, Dalia, Violeta, Gerardo y la Güera.

Me siento afortunada de haber coincidido en tiempo y espacio contigo. Gracias por ser y existir y sobre todo, ser el principio de un nuevo ciclo, en el cual descubrí parte de mí: Xinantécatl.

Danilo (varil), mil gracias por tu compañía en la austeridad, palabras de apoyo, regaños, además por compartir los malos días que los convertimos en buenos, con un buen café, galletas de chocolate y un partido de gatos.

A Tania, Sandi sandía, Pau, Perla Karen del Pacífico sur y Valeria por compartir los días haciendo telas en el árbol mágico de Mazunte.

A el mar, la Luna y las estrellas que caminaron conmigo.

A mis abuelitos, que a pesar de la distancia siempre me dieron su apoyo y enseñanza.

...A manera de solidaridad y exigencia. Libertad a los presos y presas políticas que por no querer vender sus tierras a empresas trasnacionales son injustamente encarcelados. Libertad a los presos de San Agustín Loxicha, Oaxaca: Justino Hernández, Abraham García, Eleuterio Hernández, Fortino Henríquez H. y Álvaro Sebastián R, encarcelados en el penal de Santa María Ixcotel Oaxaca, desde 1996 a la fecha.

A mi familia, Pérez-Sampablo gracias por compartir esta aventura conmigo, sin su apoyo incondicional, financiamiento y sobre todo mucho amor no lo hubiese logrado. Este trabajo es producto de ese inmenso amor y esfuerzo.

¡Gracias a ustedes mi estancia fue placentera en este puerto!

## RESUMEN

---

Se estudió la variación espacio-temporal de la temperatura superficial del mar (TSM) en la región sur del Pacífico Tropical Oriental Mexicano (frente a las costas de Guerrero, Oaxaca y Chiapas) usando compuestos mensuales de imágenes satélites del sensor AVHRR de la serie NOAA, del periodo 1996-2009. Se promediaron por grupo los meses correspondientes a cada año, para obtener el mes típico y la sucesión de los promedios de cada uno de los meses típicos para construir el año típico. Mediante un análisis de espectros se determinó las frecuencias en que se presentaron los cambios de TSM más sobresalientes. Se sugiere que la variabilidad térmica en el área de estudio está asociada con: La presencia de agua cálida ( $\sim 28.5-29^\circ \text{C}$ ) de la Alberca de Agua Cálida en la zona suroeste. En la parte intermedia una pluma de agua fría ( $\sim 23-27^\circ \text{C}$ ) procedente del Golfo de Tehuantepec (GT) y en la zona sureste la presencia de agua cálida ( $\sim 28.5-30^\circ \text{C}$ ). La TSM mostró una señal estacional con máximos ( $30^\circ \text{C}$ ) durante verano-otoño (mayo, julio y agosto) y mínimos ( $27.5^\circ \text{C}$ ) en invierno-primavera (diciembre-marzo). Las anomalías máximas positivas ( $2.4^\circ \text{C}$ ) se presentaron en la zona sureste y suroeste de la zona de estudio, mientras que las anomalías máximas negativas ( $5.2^\circ \text{C}$ ) en la zona del GT. La TSM de la región de estudio está modulada principalmente, por la variabilidad estacional, con periodos de 11-12 meses, asociado al ciclo anual de la radiación solar. Una variabilidad semianual, con periodos de 7-8 meses asociada con el forzamiento de los vientos Nortes. Y una variabilidad interanual con periodos de  $\sim 2.5$  años, asociados con eventos de El Niño-Oscilación del Sur de alta frecuencia.

## Índice General

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>i</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>ii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>iv</b>
<b>I. INTRODUCCION</b> .....	<b>1</b>
<b>II. ANTECEDENTES</b> .....	<b>5</b>
<b>III. HIPOTESIS</b> .....	<b>7</b>
<b>IV. OBJETIVOS</b> .....	<b>8</b>
<i>IV.1. General</i> .....	8
<i>IV.2. Particulares</i> .....	8
<b>V. CARACTERISTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	<b>9</b>
<i>V.1. Localización</i> .....	9
<i>V.2. Circulación superficial</i> .....	9
<i>V.3. Variabilidad Estacional</i> .....	10
<i>V.3.1. Vientos</i> .....	10
<i>V.3.2. La Alberca de Agua Cálida</i> .....	11
<i>V.4. Variabilidad Interanual</i> .....	12
<i>V.4.1. El Niño/Oscilación del Sur (ENSO)</i> .....	12
<b>VI. METODOLOGIA</b> .....	<b>13</b>
<i>VI.1. Variabilidad mensual e interanual de TSM</i> .....	13
<i>VI.2. Series de tiempo</i> .....	13
<i>VI.2.1. Cálculo de Anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (ATSM)</i> .....	15
<i>VI.2.2. Cálculo de frecuencias</i> .....	15
<i>VI.2.3. Determinación del ENSO: Índice MEI</i> .....	16
<b>VII. RESULTADOS</b> .....	<b>17</b>
<i>VII.1. Variabilidad espacio-temporal de la TSM</i> .....	17
<i>VII.1.1. Variabilidad mensual</i> .....	17
<i>VII.1.2. Variabilidad interanual</i> .....	19
<i>VII.2. Series de Tiempo</i> .....	22

<i>VII.2.1. Anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (ATSM)</i> .....	22
<i>VII.2.2.1. Zona suroeste</i> .....	27
<i>VII.2.2.2. Zona intermedia</i> .....	28
<i>VII.2.2.3. Zona sureste</i> .....	31
<i>VII.2.2.4. Comparación de ATSM vs MEI</i> .....	32
<b>VIII. DISCUSIONES</b> .....	<b>34</b>
<i>VIII.1. Variabilidad espacio-temporal de la TSM</i> .....	34
<i>VIII.2. La Alberca de Agua Cálida</i> .....	37
<i>VIII.3. Análisis espectral</i> .....	38
<b>IX. CONCLUSIONES</b> .....	<b>40</b>
<b>X. ANEXOS</b> .....	<b>42</b>
<i>AI. Aspectos Teóricos de la Percepción Remota Marina</i> .....	42
<i>AI.1. Temperatura Superficial del Mar</i> .....	42
<i>AI.2 Emisión termal</i> .....	42
<i>AI.3. Características de los sensores</i> .....	44
<i>AI.4. Sensor AVHRR-NOAA</i> .....	44
<i>AII. Eventos ENSO</i> .....	46
<b>XI. LITERATURA CITADA</b> .....	<b>47</b>

## Índice de Figuras

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1. Patrón de circulación del Pacífico Tropical Oriental (Tomado de Kessler 2006). El recuadrado azul engloba el área de estudio y el posible patrón de circulación media que modula dicha zona. ....	10
2. Zonas térmicas del área de estudio y estaciones de muestreo. Ejemplo de filtro paso bajo promedio, Noviembre 1996. ....	14
Figura 3. Variabilidad mensual de la TSM de un año típico para el periodo 1996-2009 (con excepción de 2004, ver texto para detalles) en la región del sur del PTOM.....	18
4. Año típico de la TSM durante el periodo 1996-2009 para la región de estudio (Guerrero, Oaxaca y Chiapas). ....	19
5. Variabilidad interanual de la TSM para el periodo 1996-2009 (con excepción de 2004, ver texto para detalles) en la región del sur del PTOM.....	21
6. Series de ATSM de la zona suroeste (Est. 1-4) para el periodo 1996-2009 (con excepción de 2004, ver texto para detalles). ....	23
7. Series de ATSM de la zona intermedia (Est. 5-11) para el periodo 1996-2009 (con excepción de 2004, ver texto para detalles). ....	24
8. Series de ATSM de la zona sureste (Est. 12- 15) para el periodo 1996-2009 (con excepción de 2004, ver texto para detalles). ....	26
9. Espectros de potencia de la serie de ATSM, para la zona suroeste (Est. 1-4) durante el periodo 1996-2009, a es el año y m el mes. ....	28
10. Espectros de potencia de la serie de ATSM, para la zona intermedia (Est. 5-7) durante el periodo 1996-2009, a es el año y m el mes. ....	29
11. Espectros de potencia de la serie de ATSM, para la zona sureste (Est. 12-15) durante el periodo 1996-2009 a es el año y m el mes. ....	31
12. a) Serie de ATSM (línea azul) e MEI (línea negra), b) Espectros de potencia para la serie de ATSM (—) e MEI ( — ) versus la frecuencia en ciclos por mes (cpm), donde, (—) indica las señales en que coinciden las frecuencias de ambas series, c) Función de coherencia de la series de ATSM e MEI versus la frecuencia (a es el año y m es el mes), del periodo 1996-2009 para el extremo sur del PTOM.....	33
13. Promedio mensual de vectores de viento (flechas) y colores, la velocidad del viento obtenidos de QuikSCAT para el periodo, julio 1999-diciembre 2005 (tomada de Romero-Centeno <i>et al.</i> 2007).....	35

14. Variaciones de la TSM en la Alberca de Agua Cálida del Pacífico Tropical oriental, derivado de datos de TSM del NCEP (tomado de Wang & Enfield 2003).....	37
15. Distribución estacional promedio de la TSM en la Alberca de Agua Cálida del Pacífico Tropical oriental de marzo a octubre, derivado de datos de TSM del NCEP (tomado Wang & Enfield 2003).....	38

## Índice de Tablas

<b>Tabla</b>	<b>Página</b>
I. Localización de estaciones de muestreo.....	15
II. Temperatura promedio para un año típico de TSM por zona.....	19
III. Frecuencias más sobresalientes de la serie de ATSM, para la zona suroeste (Guerrero, Est. 1-4), durante el periodo 1996-2009 (los valores de frecuencia se presentan en orden decreciente de densidad de potencia).....	27
IV. Frecuencias más sobresalientes de la serie de ATSM, para la zona intermedia (Oaxaca, Est. 5-11) durante el periodo 1996-2009 (los valores de frecuencia se presentan en orden decreciente de densidad de potencia).....	29
V. Frecuencias más sobresalientes de la serie de ATSM, para la zona sureste (Chiapas, Est. 12-15) durante el periodo 1996-2009 (los valores de frecuencia se presentan en orden decreciente de densidad de potencia).....	31
AI. Características del sensor AVHRR.....	45
AII. Eventos ENSO en su fase El Niño (color rojo) y La Niña (color azul) de acuerdo al MEI, para el periodo 1996-2009 ( <a href="http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/table.html">http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/table.html</a> ). .....	46