

**UNIVERSIDAD DEL MAR
CAMPUS PUERTO ÁNGEL**



**“ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN TEMPORAL DE LA
PRECIPITACIÓN Y FLUJOS DE HUMEDAD EN PUERTO
ÁNGEL, OAXACA, MÉXICO”**

**T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN OCEANOLOGÍA
P R E S E N T A:**

ELDER CASTREJÓN RODRÍGUEZ

DIRECTOR: DR. VÍCTOR O. MAGAÑA RUEDA

PUERTO ÁNGEL, OAXACA.

FEBRERO 2011



ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

Después de realizar una revisión detallada de la tesis “Análisis de la variación temporal de la precipitación y flujos de humedad en Puerto Ángel, Oaxaca, México”, presentada por el pasante en Oceanología Elder Castrejón Rodríguez, se considera que cumple con los requisitos y calidad necesarios para ser defendida en el examen profesional.

COMISIÓN REVISORA

Dr. Víctor O. Magaña Rueda
Universidad Nacional Autónoma de México
Director

Dra. María Auxilio Esparza
Universidad del Mar
Revisor

Dr. Cristóbal A. Reyes Hernández
Universidad del Mar
Revisor

M. en C. Ricardo R. Hernández
Universidad del Mar
Revisor

Ocean. Miguel A. Ahumada Sempoal
Universidad del Mar
Revisor

Cuando ven que las nubes aparecen por occidente, dicen que va a llover, y así sucede. Y cuando el viento sopla del sur, dicen que va a hacer calor, y lo hace. Si saben interpretar tan bien el aspecto del cielo y de la tierra, ¿cómo no saben interpretar el tiempo en que viven?”

(Lucas 12: 54-56)

Dedicatorias

A Dios, por darme la vida, llevarme por buen camino, y sobre todo por la fortuna de tener a mi familia.

A mis padres y hermanos, por apoyarme en todo, por estar conmigo cuando los necesito. Para ellos, todo mi amor y respeto.

A mi hijo Erick, porque cada segundo contigo es lo más bello y valioso. La experiencia de tenerte a mi lado ha sido la más hermosa.

Agradecimientos

A la Universidad del Mar campus Puerto Ángel, por conducirme en el camino del aprendizaje y la libertad de ideas. Gracias por aguantarme todos estos años.

Al Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México por permitirme desarrollar mis Estancias Profesionales y dar pie para la realización de este trabajo.

Al Dr. Víctor O. Magaña Rueda por la dirección de esta tesis, por su enseñanza, y por su visión sobre la importancia de la dedicación y la humildad en la investigación, porque para él “los hechos dicen más que mil palabras”.

A los revisores: Dr. María Auxilio Esparza, Dr. Cristóbal Reyes Hernández, Ocean. Miguel Ángel Ahumada Sempoal y M. C. Ricardo Rodrigo Hernández, por el tiempo dedicado en la revisión del presente y por sus valiosísimas sugerencias para mejorarlo, pero sobre todo por ayudarme a madurar intelectualmente. Gracias por tener presente que los estudiantes estamos en crecimiento.

A los profesores: Dr. Juan Matías Méndez Pérez y M.C. Manuel Mancilla Peraza, por las diversas asesorías que me brindaron.

A los profesores que me impartieron clases durante mi estancia en la UMAR, por compartirme sus conocimientos, experiencias y motivación, gracias por su dedicación.

A mis compañeros: Magdalena, Viridiana, Mauro e Irving por compartir dudas e inquietudes durante la carrera.

A Xochilt, Ross, el Oax (Javier), el Abuelo (Alexis) y el Chirchi (Manuel) por brindarme su amistad y apoyo.

RESUMEN

Se estudió la variación temporal de la precipitación y flujos de humedad en Puerto Ángel, Oaxaca, correspondiente al período 1941-2007 utilizando datos anuales, mensuales, diarios y horarios (precipitación, temperatura del aire, vientos y humedad), así como datos de modelos atmosféricos. El estudio se dividió en tres partes: primero se caracterizó el régimen de precipitación en la zona, después se determinaron los valores extremos de precipitación acumulada en 24 horas, mediante el ajuste de los datos a la función Gamma y finalmente se realizó una sinopsis sobre los flujos de humedad y probabilidades de precipitación. Los resultados del régimen de precipitación muestran que el 95% de la lluvia en Puerto Ángel se presenta en el periodo mayo-octubre, con un máximo (169.1 mm) en el mes de junio, un mínimo relativo (131.4 mm y 143.6 mm) en los meses de julio y agosto, y un segundo máximo (205.2 mm) en el mes de septiembre. El análisis de datos horarios indicó que las precipitaciones máximas ocurren en la noche-madrugada (de las 19:00 a las 4:00 horas) y de mayor magnitud en los meses de junio y septiembre. La probabilidad estimada del inicio de la temporada de lluvias fue de 48% para la cuarta semana de mayo y de 25% para la primera semana de junio. Los eventos extremos de precipitación, definidos como la precipitación acumulada superior a 45.5 mm, fueron frecuentes en mayo (3%) y muy frecuentes en septiembre (33%). Finalmente, debido a que el área de estudio se encuentra en la vertiente expuesta a los vientos húmedos del Océano Pacífico, se caracteriza por presentar valores altos de precipitación, en relación a la vertiente oculta, que en su mayoría son producto del paso de ondas del este, depresiones, tormentas y huracanes tropicales.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 ASPECTOS GENERALES	1
1.1.1 La precipitación y eventos extremos	3
1.1.2 Importancia de la información meteorológica en Puerto Ángel.....	4
1.2 MECANISMOS QUE PRODUCEN PRECIPITACIÓN EN MÉXICO	5
1.2.1 La Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT)	5
1.2.2 El monzón mexicano	6
1.2.3 Las ondas del este.....	7
1.2.4 Los ciclones tropicales	8
1.2.5 Masas de aire frío y frentes.....	9
1.3 EL NIÑO-OSCILACION DEL SUR COMO FUENTE DE VARIABILIDAD	12
2. ANTECEDENTES	15
2.1 CICLO ANUAL DE PRECIPITACIÓN DE VERANO EN MÉXICO.	15
2.1.1 Inicio de la temporada de lluvias.....	15
2.1.2 La canícula.....	16
2.1.3 Final de la temporada de lluvias.....	18
2.2 LA TEMPORADA DE LLUVIAS EN PUERTO ÁNGEL.....	19
3. OBJETIVOS	22
4. LOCALIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	23
5. DATOS Y METODOLOGÍA	26
5.1 DESCRIPCIÓN Y FUENTE DE LOS DATOS UTILIZADOS	26
5.2 METODOLOGÍA.....	27
5.2.1 Análisis de la variación temporal de la precipitación.....	27
5.2.2 Eventos extremos de precipitación diaria.....	29
5.2.3 Sinopsis sobre flujos de humedad y probabilidad de precipitación	31
6. RESULTADOS	34
6.1 ANÁLISIS TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN EN PUERTO ÁNGEL	34
6.1.1 Tendencia de la precipitación.....	34
6.1.2 Régimen anual de precipitación	38
6.1.4 Régimen diario de precipitación y variables asociadas.....	40
6.1.3 Inicio de la temporada de lluvias.....	45
6.2 PRECIPITACIÓN EXTREMA	46
6.2.1 Eventos extremos de precipitación diaria.....	46
6.3 FLUJOS DE HUMEDAD Y PROBABILIDAD DE PRECIPITACIÓN.....	49
6.3.1 Precipitación orográfica.....	49
6.3.2 Fenómenos meteorológicos de escala sinoptica y el aumento de convergencia de humedad	56
6.3.3 Matriz de probabilidad	57
7. DISCUSIONES	62
7.1 LA PRECIPITACIÓN EN PUERTO ÁNGEL	62
7.2 FUENTE DE HUMEDAD EN PUERTO ÁNGEL.....	64

8. CONCLUSIONES	70
9. RECOMENDACIONES	71
10. APÉNDICE	72
11. REFERENCIAS	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Precipitación Orográfica (Modificado de Gabler <i>et al.</i> , 2006).	2
Figura 2. Modelo de la sección vertical a través del Monzón de Norteamérica. (Modificado de Higgins <i>et al.</i> , 1999 citado por Report to the Nations, 2004).	7
Figura 3. Esquema de las ondas del este atravesando el Océano Atlántico (Modificado de Engle, 2003).	8
Figura 4. Condiciones normales sobre el Océano Pacífico	13
Figura 5. Condiciones El Niño sobre el Océano Pacífico	13
Figura 6. Fechas promedio para el inicio de la temporada de lluvias Tomado de Janowiak y Xie (2003).	16
Figura 7. Climatología de la precipitación al sur de México y América central. (Magaña <i>et al.</i> , 1999).	17
Figura 8. Fechas promedio (líneas punteadas) para el final de la temporada de lluvias. Tomado de Janowiak y Xie (2003).	19
Figura 9. Inicio de la temporada de lluvias en Puerto Ángel, Oaxaca, según Uribe (2002).	20
Figura 10. Tendencia de Precipitación anual (mm/100) en el periodo 1945-1994 (Méndez, 2003).	21
Figura 11. Ubicación del Área de estudio.	23
Figura 12. Orografía del Estado de Oaxaca (Mathews, 2009).	25
Figura 13. Precipitación promedio anual (INEGI, 2009).	25
Figura 14. Representación de percentiles en una Función de Distribución de Probabilidad (FDP) Gamma.	30
Figura 15. Dirección principal del viento para el cálculo de la matriz de probabilidad.	33
Figura 16. Precipitación anual, media histórica y tendencia para el periodo 1941-2007.	35
Figura 17. Precipitación anual, media histórica y tendencia para el período 1941-1978.	36
Figura 18. Precipitación anual, media histórica y tendencia para el período 1984-2007.	37
Figura 19. Precipitación, temperatura del aire máxima y mínima mensual durante el periodo 1941-2007 para Puerto Ángel, Oaxaca.	38
Figura 20. Día promedio de mayo (2001-2005).	40
Figura 21. Día promedio de junio (2001-2005).	41
Figura 22. Día promedio de julio (2001-2005).	41

Figura 23. Día promedio de agosto (2001-2005).	42
Figura 24. Día promedio de septiembre (2001-2005).	42
Figura 25. Día promedio de octubre (2001-2005).	43
Figura 26. Día promedio de verano (2001-2005).	44
Figura 27. Inicio de la temporada de lluvias en Puerto Ángel, Oaxaca (1941-2005).	45
Figura 28. Uso de la Función de Distribución de Probabilidad Gamma para determinar el valor extremo de precipitación diaria en Puerto Ángel, Oaxaca.	46
Figura 29. Frecuencia mensual de eventos extremos de precipitación en Puerto Ángel, Oaxaca, para el periodo 1941-2005.	47
Figura 30. Valores extremos de precipitación registrados por décadas en Puerto Ángel, Oaxaca, México para el periodo 1941-2005.	48
Figura 31. Precipitación de verano (mm) en la República Mexicana y presión en superficie (pascales) para el 2002.	50
Figura 32. Precipitación (mm) y viento (barbas, km/h) durante los meses de verano en la región donde se localiza el área de estudio (2001).	52
Figura 33. Precipitación (mm) y viento (barbas, km/h) durante los meses de invierno en la región donde se localiza el área de estudio (2001).	53
Figura 34. Precipitación (mm) y viento (barbas, km/h) durante los meses de verano en la región donde se localiza el área de estudio (2005).	54
Figura 35. Precipitación (mm) y viento (barbas, km/h) durante los meses de invierno en la región donde se localiza el área de estudio (2005).	55
Figura 36. Dirección y magnitud del viento (flecha azul), humedad relativa (línea negra) y precipitación diaria (línea roja) para el año 2002.	58
Figura 37. Dirección y magnitud del viento (flecha azul), humedad relativa (línea negra) y precipitación diaria (línea roja) para el año 2004.	58
Figura 38. Dirección y magnitud del viento (flecha azul), humedad relativa (línea negra) y precipitación diaria (línea roja) para el año 2005.	59
Figura 39. Dirección y magnitud del viento (km/h) durante precipitación < 3.56 mm/día.....	60
Figura 40. Panel Superior-Viento en superficie y presión a nivel del mar de enero-febrero. Panel Inferior-Viento en superficie de enero-febrero basado en observaciones de satélite.	65
Figura 41. Panel Superior-Viento en superficie y presión a nivel del mar de junio-julio-agosto.. Panel Inferior-Viento en superficie de junio-agosto.....	66

Figura 42. Dirección y magnitud del viento en los meses de enero (panel superior) y abril (panel inferior) del 2005. Horario UTC.	68
Figura 43. Dirección y magnitud del viento en los meses de septiembre 2002 (panel superior) y agosto 2005 (panel inferior). Horario UTC.	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Categorías y escalas de ciclones tropicales de Saffir-Simpson. Tomado de Magaña (1999).	8
Tabla II. Fuente de los datos utilizados.	27
Tabla III. Matriz de probabilidades.	32
Tabla IV. Valores medios mensuales de precipitación acumulada (mm).	38
Tabla V. Índices de precipitación en Puerto Ángel, Oaxaca.	47
Tabla VI. Frecuencia relativa de precipitación diaria por década para Puerto Ángel, Oaxaca, México.	48
Tabla VII. Eventos extremos de precipitación durante el periodo 1989-2005.	56
Tabla VIII. Matriz de probabilidades.	61
Tabla IX. Datos Faltantes.	72