

01130
5



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

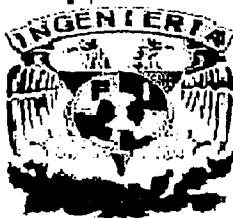
*Selección de un modelo matemático
apropiado para cálculo de niveles de
atenuación por lluvia para
radiocomunicaciones vía satélite en banda Ku*

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

PRESENTAN:

*Mariana Hilda Avila Arciniega
Karolina López de Llergo Uribe*



ASESOR: *Ing. Víctor Damián Pinilla Morán*
CODIRECTOR: *Ing. Delfina Reyes Ávalos*

MÉXICO, D. F. 2003

A



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**PAGINACIÓN
DISCONTINUA**

Agradecemos primeramente a Dios por traernos y guiarnos a lo largo de la vida hasta este momento.

A nuestra Universidad, por darnos algo más que una carrera, porque no sólo pasamos por las aulas, sino que fuimos parte de algo más; por el espíritu PUMA, porque nos permitió divertirnos, desarrollarnos físicamente y crecer intelectualmente no sólo en nuestra área de estudio, sino como personas completas.

A nuestra Facultad de Ingeniería porque nos permitió conocer muchas facetas de la vida y por toda la gente que conocimos aquí, los amigos, compañeros y maestros algunos de los cuales nos son muy queridos.

Especialmente a Víctor Pinilla, que nos ayudó y nos guió a lo largo de todo un año en esta tesis, por ser profesor, amigo y a veces hasta mediador...

Gracias a Delfina Reyes por ayudarnos y creer en nosotros, por darnos ánimo siempre y encomendarnos este proyecto.

A Juan Ramón Tejada por su invaluable ayuda y aportación en esta tesis.

KAROLINA Y MARIANA

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Mariana Hilda Arila

Arceiniega

FECHA: 31. Oct - 2003

FIRMA: Mariana Arceiniega

B

En el viaje de nuestras vidas...no hay mayor crimen que matar un sueño, ni mayor virtud que realizarlo. por eso, agradezco a todos los que de alguna manera han hecho posible alcanzar mi caro anhelo.

*Agradezco infinitamente a mi **Padre** quien forjó mi destino y ha guiado mis pasos. Un caudal de gratitud a mi adorada **Madre** de quien aprendí al verla a ser una mujer de lucha, y que con sus consejos me acompaña a diario, con el mismo amor y cariño que cuando me trajo al mundo... Mi mar de ternura para mi querido hermano **Eduardo** con quien he compartido los días alegres y tristes de mi vida, a mis fieles amigos **Norma, Verónica, Cintia, Elsie, Héctor, Toño, Edgar, Alejandro, Salvador, Javier, Federico, Marcos y Nicolás**, sin los cuales no habría podido ser la mujer que soy.*

*Gracias a **Karolina** por aguantar mis quejas, mis flojeras y todo lo demás.*

*Agradezco todo el cariño y ayuda que me brindó **Juan Ramón Tejada** a lo largo de estos 5 años.*

*Y muy especialmente a **Rodrigo** cuya compañía y sincera amistad constituyen para mi un recuerdo inolvidable.*

Con Amor
MARIANA

C

Quiero agradecer principalmente a quienes me ayudaron y apoyaron en la realización de esta tesis: mi papá por desvelarse conmigo, Mauricio por darme tu tiempo y tu cariño, Adriana y Violeta.

*Gracias a mis padres por enseñarme a luchar y lograr lo que quiero y por darme todo lo que han podido.
¡He aquí su herencia!*

A Karina por ayudarme en tantas ocasiones con mis tareas.

A todos mis amigos que han estado conmigo: Ana, Violeta, Omar², Dante, Brenda, César, Vero, Marcos, Arely, Coral, Rodrigo, a todos mis amigos del CELE y de primer semestre, Jaime, Alex, Octavio, Jorge, Raúl Porta, Melina, Chayo y a todos los demás que han influido en mí a lo largo de mi vida.

A los maestros que han dejado una huella en mí; sobre todo Pinilla, a quien tanta lata le he dado últimamente. Gracias por tu amistad y por todo.

Finalmente gracias a Mariana que aguantó mis regañones y lo demás todo el año. Después de todo logramos adaptarnos y trabajar juntas como un buen equipo.

—Lo que hace más importante a tu rosa, es el tiempo que le has dedicado.

KAROLINA

D

ÍNDICE

| | |
|--------------------|----|
| Índice | I |
| Introducción | IV |

CAPÍTULO 1

| | |
|--|----|
| ANTECEDENTES | 1 |
| 1.1 Comunicaciones via satellite..... | 1 |
| 1.1.1 Modelos de enlace del sistema satelital | 2 |
| 1.2 Bandas de frecuencias utilizadas en la comunicación via satélite | 3 |
| 1.3 Órbitas satelitales útiles | 6 |
| 1.3.1 Órbita Geoestacionaria | 9 |
| 1.3.1.1 Parámetros típicos de la órbita geoestacionaria..... | 13 |
| 1.3.1.2 Patrones de radiación: huellas | 13 |
| 1.3.2 Reutilización de frecuencias | 13 |
| 1.4 El segmento espacial | 14 |
| 1.5 El segmento terrestre | 15 |
| 1.5.1 Posicionamiento de la antena | 16 |
| 1.5.1.1 Latitud - Longitud | 16 |
| 1.5.1.2 Ángulos de vista | 18 |
| 1.6 Satélites mexicanos..... | 20 |

CAPÍTULO 2

| | |
|--|----|
| CARACTERÍSTICAS DE LA BANDA Ku | 23 |
| 2.1 ¿Porqué banda Ku? | 23 |
| 2.2 Servicios comerciales | 24 |
| 2.3 Factores de propagación en la banda KU | 27 |
| 2.3.1 Efectos en la ionosfera | 31 |
| 2.3.2 Efectos en la troposfera..... | 31 |
| 2.3.2.1 Atenuación por partículas en suspensión; tormentas de arena..... | 32 |
| 2.3.2.2 Efectos sobre la polarización..... | 32 |
| 2.3.2.3 Atenuación por absorción de gases | 32 |
| 2.3.2.4 Atenuación por hidrometeoros | 33 |

CAPÍTULO 3

| | |
|--|----|
| CARACTERÍSTICAS Y SISTEMAS DE LLUVIA | 43 |
| 3.1 Tipos de lluvia | 44 |
| 3.1.1 Lluvia estratiforme | 44 |
| 3.1.2 Lluvia convectiva | 44 |
| 3.1.3 Precipitación monzónica | 44 |
| 3.1.4 Tormenta ciclónica tropical..... | 45 |
| 3.2 Datos de precipitación | 45 |
| 3.3 Estimación de la razón de lluvia | 47 |
| 3.4 Características principales de la lluvia..... | 48 |
| 3.4.1 Macroestructura de la lluvia..... | 49 |
| 3.4.1.1 Estructura horizontal de la lluvia | 49 |
| 3.4.1.2 Estructura vertical de las precipitaciones | 53 |
| 3.4.2 Microestructura de la lluvia..... | 58 |
| 3.4.2.1 Distribución del tamaño de las gotas | 58 |
| 3.4.2.2 Forma y orientación de los hidrometeoros..... | 59 |
| 3.4.2.3 Velocidad terminal..... | 59 |
| 3.4.2.4 Temperatura de las gotas de lluvia..... | 60 |
| 3.4.3 Características estadísticas de la intensidad de lluvia en un punto..... | 60 |
| 3.4.3.1 Distribución acumulativa de la intensidad de lluvia | 60 |
| 3.4.3.2 Conversión de la distribución de la intensidad de lluvia en estadísticas equivalentes referidas a 1 minuto | 63 |
| 3.4.3.3 Modelos para la distribución de la intensidad de lluvia | 63 |
| 3.4.3.4 Estadísticas de la duración de las lluvias..... | 64 |
| 3.5 Atenuación específica | 65 |
| 3.6 Predicciones de la atenuación producida por la lluvia en trayectos terrestres, realizadas a partir de datos sobre la intensidad de precipitación..... | 68 |
| 3.6.1 Estadísticas sobre un solo trayecto | 68 |
| 3.6.2 Estadísticas sobre diversidad de trayectos | 70 |
| 3.7 Predicciones de atenuación debida a la lluvia en trayectos tierra-espacio a partir de datos sobre la intensidad de la precipitación en forma de lluvia..... | 71 |
| 3.7.1 Estadísticas sobre un solo emplazamiento | 71 |
| 3.7.2 Estadísticas sobre diversidad de emplazamientos | 72 |
| 3.7.3 Atenuación diferencial a lo largo de dos trayectos que terminan en una estación terrena | 72 |

CAPÍTULO 4

| | |
|--|----|
| MODELOS DE PRECIPITACIÓN Y ATENUACIÓN POR LLUVIA | 73 |
| 4.1 Modelos para la predicción de la atenuación debida a la lluvia | 73 |
| 4.2 Modelo de Rice-Holmberg..... | 75 |
| 4.2.1 Modelo matemático | 75 |

| | |
|--|----|
| 4.3 Modelo UIT-R | 80 |
| 4.3.1 Método general | 80 |
| 4.4 Modelo Global - Crane | 83 |
| 4.4.1 Predicción de razón de lluvia puntual superficial..... | 83 |
| 4.4.2 Predicción de razón de lluvia y atenuación específica a lo largo de una trayectoria de propagación | 87 |
| 4.4.3 Predicción de la variación vertical de atenuación específica | 90 |
| 4.4.4 Aplicación paso por paso del modelo de predicción de atenuación | 92 |
| 4.5 Tabla comparativa y algoritmos..... | 95 |
| 4.5.1 Tabla comparativa..... | 95 |
| 4.5.2 Diagramas de flujo | 96 |

CAPÍTULO 5

| | |
|--|-----|
| DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE ATENUACIÓN POR LLUVIA | 99 |
| 5.1 Análisis de los datos de precipitación pluvial..... | 101 |
| 5.1.1 Recopilación de datos | 102 |
| 5.1.2 Resultados obtenidos..... | 103 |
| 5.1.2.1 Modelos de precipitación resultantes..... | 115 |
| 5.1.3 Comparación de los resultados obtenidos con los distintos modelos | 117 |
| 5.2 Aplicación en los modelos de predicción de atenuación..... | 119 |
| 5.2.1 Desarrollo de una aplicación de los modelos de predicción en los modelos de atenuación | 120 |
| 5.2.2 Tabla comparativa de los resultados..... | 127 |
| 5.3 Análisis de resultados | 128 |
| 5.3.1 Dependencia de la frecuencia..... | 128 |
| 5.3.2 Dependencia del tipo de polarización..... | 129 |
| Conclusiones | 131 |
| Bibliografía | 133 |
| Anexo A | A1 |
| Anexo B | B1 |
| Anexo C | C1 |

INTRODUCCIÓN

A finales de los años 50s fueron lanzados los primeros satélites artificiales. Hoy en día, cientos de satélites orbitan la tierra, siendo la tecnología satelital vital para las comunicaciones.

Las bandas de transmisión más utilizadas en satélites comerciales son la banda C (4 - 6 GHz) y la banda Ku (12 - 14 GHz). Ésta última se ve afectada en su paso por la atmósfera por las fuerzas de la naturaleza, como lo es la lluvia.

Al pasar una señal a través de gotas de lluvia ocurre un fenómeno conocido como atenuación, que es un debilitamiento del nivel de la señal y es causado por absorción y dispersión de la onda radioeléctrica al contacto con las gotas de lluvia ya que éstas son de tamaño parecido a la longitud de onda en el caso de la banda Ku.

Para evitar la pérdida de la comunicación se le agrega a la señal un margen de atenuación por lluvia en el cálculo del enlace. Sólo por unos pocos minutos, durante las lluvias más pesadas se interrumpirá el enlace.

Estos márgenes de atenuación son calculados en función del clima de cada lugar aplicados a un modelo matemático, esto es, por zonas hidrometeorológicas. El problema es que estas últimas son propuestas de manera diferente por cada modelo así que se debe seleccionar el modelo óptimo en la obtención de los márgenes para cada localidad en particular.

El objetivo del presente trabajo es analizar y comparar las características y los resultados que arrojan distintos modelos matemáticos para el cálculo de niveles de atenuación por lluvia en banda Ku y a partir de este análisis, establecer cual es el método o métodos que resulten apropiados para ser utilizados en los cálculos de enlace del satélite Satmex 6 en la República Mexicana.

Por lo tanto, analizaremos también las zonas hidrometeorológicas manejadas hasta ahora por Satmex y las compararemos con las de los modelos de Crane y la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).

Es importante mencionar que se utilizarán los datos de lluvia de algunas localidades más actualizados, puesto que los márgenes que se utilizan actualmente están basados en datos anteriores a 1985 y no podemos tener la certeza de que éstos sean totalmente confiables debido a los cambios en el clima a nivel mundial. De tal modo, que podrían verse modificados los niveles de atenuación para algunas zonas hidrometeorológicas.

En el capítulo 1 se resumirán los principios básicos de las comunicaciones satelitales, sus características y las bandas utilizadas. En el capítulo 2 se presentarán las características de la banda Ku y los efectos que sufre la señal durante una transmisión. En el capítulo 3 se hará lo propio con la lluvia, hablando de su macroestructura y microestructura; se explicará la atenuación específica y las predicciones de atenuación debida a lluvia a partir de datos sobre la intensidad de ésta. El capítulo 4 trata de los modelos matemáticos más utilizados para caracterizar la precipitación y atenuación por lluvia. Finalmente, en el capítulo 5 se determinarán los niveles de atenuación por lluvia para ciudades representativas de cada zona hidrometeorológica de la República Mexicana y se hará la comparación de los diferentes modelos.

CAPITULO 1

ANTECEDENTES

1.1 COMUNICACIONES VIA SATELITE

En general, un satélite es cualquier objeto que recorre una órbita alrededor de un cuerpo celeste de masa prominente. El término se usa comúnmente para designar objetos fabricados para orbitar la Tierra. Hay satélites de tipo meteorológico, de reconocimiento militar, de comunicaciones, de observaciones astronómicas y de navegación, entre otros [1].

Un satélite puede definirse como un repetidor de radio espacial. Un sistema satelital consiste de uno o varios satélites, una o más estaciones en tierra para controlar su funcionamiento y una red de estaciones terrenas, que proporcionan las facilidades para transmisión y recepción del tráfico de comunicaciones a través del sistema de satélite.

En el caso de radiodifusión directa de televisión vía satélite, por ejemplo, el servicio que se da es de tipo unidireccional por lo que normalmente se requiere una estación transmisora única, que emite los programas hacia el satélite y varias estaciones terrenas de recepción solamente que toman las señales provenientes del satélite. Existen otros tipos de servicios que son bidireccionales donde las estaciones terrenas son de transmisión y de recepción.

Un satélite en órbita *geoestacionaria* [2], es decir, moviéndose a la misma velocidad angular que la Tierra y aparentemente quieto sobre ella, permite cubrir desde una altura de 36.000 km la tercera parte de la superficie terrestre, de modo que es posible conseguir comunicaciones a cualquier parte del mundo con tres satélites situados a 120° entre sí.

1.1.1 MODELOS DE ENLACE DEL SISTEMA SATELITAL

Un enlace satelital es un enlace radioeléctrico entre una estación terrena receptora y una transmisora por medio de un satélite. Esencialmente, un sistema satelital está constituido por un enlace ascendente o de subida (*up link*), un cambio de frecuencia en un transpondedor satelital y un enlace descendente o de bajada (*down link*) [3].

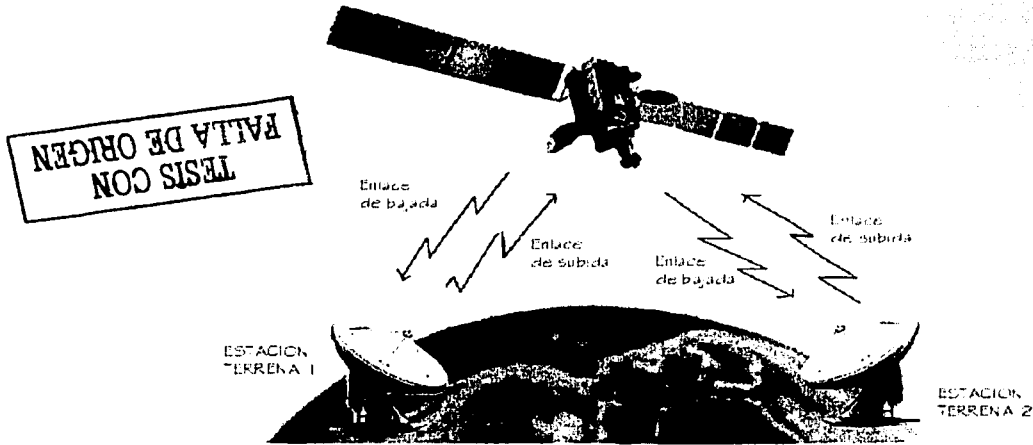


Figura 1.1 Partes de un enlace satelital

Enlace de subida

Es la transmisión de la estación terrena hacia el satélite. El principal componente dentro de la sección *de subida*, de un sistema satelital, es el transmisor de la estación terrena.

Transpondedor

La palabra transpondedor es la traducción de la palabra en inglés *transponder*, que se formó de las palabras *transmitter-responder*. Su función básica es cambiar la frecuencia de la señal de una frecuencia de subida (mayor) a una frecuencia de bajada (menor).

Cada canal de radio frecuencia (RF) del satélite requiere de un transpondedor separado [4].

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Enlace de Bajada

Es la transmisión del satélite hacia la estación terrena. Para un enlace de bajada, el transmisor es fijo, puesto que está en el satélite. La potencia que corresponde a cada canal depende del ancho de banda que esté ocupando dentro del transpondedor. Y por lo tanto, el componente dentro de la sección de bajada de un sistema satelital, que va a determinar la señal recibida es el receptor de la estación terrena.

Enlaces cruzados

Esto se realiza usando enlaces cruzados entre satélite o enlaces intersatelitales (ISL). Una desventaja de usar un ISL es que el transmisor y receptor son enviados ambos al espacio. Consecuentemente, la potencia de salida del transmisor y la sensibilidad de entrada del receptor se limitan.

1.2 BANDAS DE FRECUENCIAS UTILIZADAS EN LA COMUNICACIÓN VIA SATÉLITE

Las longitudes de onda diferentes poseen propiedades diferentes. Las longitudes de onda largas pueden recorrer grandes distancias y atravesar obstáculos. Las grandes longitudes de onda pueden rodear edificios o atravesar montañas, pero cuanto mayor sea la frecuencia (y por tanto, menor la longitud de onda), más fácilmente pueden detenerse las ondas.

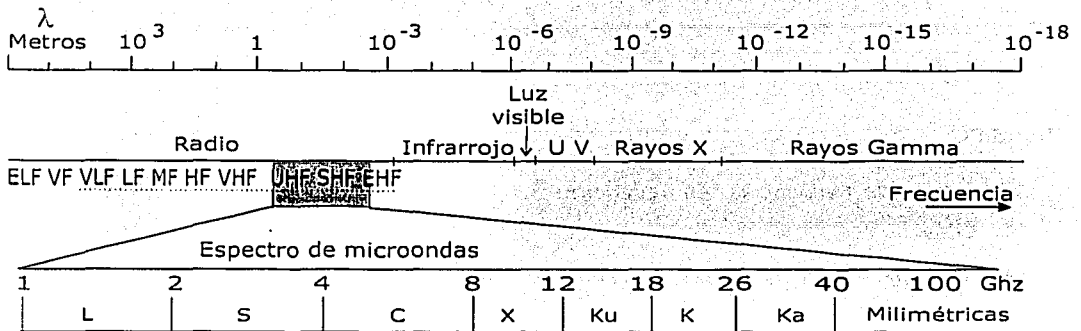


Figura 1.2 Espectro electromagnético

El espectro electromagnético está dividido en varias regiones. A la región de menor frecuencia del espectro se le conoce como espectro radioeléctrico u ondas de radio. En la parte alta del espectro radioeléctrico se encuentran las microondas, que son las que se utilizan para enlaces satelitales, pues soportan servicios con mayor ancho de banda. Después de las ondas de radio se encuentran los rayos infrarrojos y la luz visible. El infrarrojo cercano y la luz visible son utilizadas para comunicaciones con fibras ópticas. Después de la luz visible se encuentran los rayos ultravioleta, que no son utilizados en comunicaciones, pero tienen otras aplicaciones, así como los rayos X. En la parte más alta del espectro se encuentran los rayos gamma y cósmicos [5].

Cuando las frecuencias son lo suficientemente altas (del orden de decenas de gigahertz), las ondas pueden ser detenidas por objetos como las gotas de lluvia, dado que su tamaño es comparable a su longitud de onda, provocando el fenómeno denominado desvanecimiento o atenuación por lluvia o "*rain fade*". Para superar este fenómeno se necesita bastante más potencia, lo que implica transmisores más potentes o antenas más directivas, que provocan que el precio del satélite aumente [6].

Concretamente, las bandas utilizadas en los sistemas de satélites son:

Banda L.

- *Rango de frecuencias:* 1.53-2.7 GHz.
- *Ventajas:* grandes longitudes de onda pueden penetrar a través de las estructuras terrestres; precisan transmisores de menor potencia.
- *Inconvenientes:* poca capacidad de transmisión de datos.

Banda C

- *Rango de frecuencias:* en recepción 3.7 - 4.2 GHz, y en transmisión 5.925-6.425 GHz.
- *Ventajas:* disponibilidad mundial, tecnología barata, robustez contra atenuación por lluvia.

- *Inconvenientes:* antenas grandes (1 a 3 metros), susceptible de recibir y causar interferencias desde satélites adyacentes y sistemas terrestres que compartan la misma banda (Se necesitaría en algunos casos recurrir a técnicas de espectro esparcido y CDMA).

Banda Ku.

- *Rango de frecuencias:* en recepción 11.7-12.7 GHz, y en transmisión 14-14.5 GHz.
- *Ventajas:* longitudes de onda medianas que traspasan la mayoría de los obstáculos y transportan una gran cantidad de datos. Uso más eficiente de las capacidades del satélite ya que, al no estar tan influenciado por las interferencias, se pueden usar técnicas de acceso más eficientes como FDMA o TDMA frente a CDMA que hace un uso menos eficaz del ancho de banda. Antenas más pequeñas (0.6 a 1.8 m)
- *Inconvenientes:* la mayoría de las ubicaciones están adjudicadas, es más sensible a las atenuaciones por lluvia.

Banda Ka.

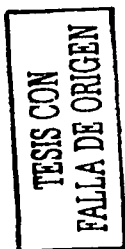
- *Rango de frecuencias:* 18-31 GHz.
- *Ventajas:* amplio espectro de ubicaciones disponible; las longitudes de onda transportan grandes cantidades de datos.
- *Inconvenientes:* son necesarios transmisores muy potentes; sensible a interferencias ambientales [7].

En la siguiente tabla se muestran las bandas y sus rangos de frecuencia [8]:

| Tipo de Banda | Rango de Frecuencias |
|---------------|--|
| L | 1.53-2.70 GHz |
| S | 2.70-3.50 GHz |
| C | Downlink: 3.70-4.20 GHz Uplink: 5.925-6.425 GHz |
| X | Downlink: 7.250-7.745 GHz Uplink: 7.900-8.395 GHz |
| Ku (Europa) | Downlink: FSS [†] : 10.70-11.70 GHz DBS [†] : 11.70-12.50 GHz Telecom: 12.50-12.75 GHz |

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

[†] FSS: Servicio fijo por satélite, excepto radiodifusión (*Fixed Satellite Service*).



| Tipo de Banda | Rango de Frecuencias |
|---------------|--|
| Ku (Europa) | Uplink: FSS y Telecom: 14.0-14.8GHz DBS: 17.300-18.100 GHz |
| Ku (América) | Downlink: FSS: 11.70-12.20 GHz DBS: 12.20-12.70 GHz Uplink: FSS: 14.00-14.50 GHz DBS: 17.30-17.80 GHz |
| Ka | Uplink: 30 GHz Downlink: 20 GHz |

Tabla 1.1 Bandas satelitales

1.3 ÓRBITAS SATELITALES ÚTILES

Existen varios tipos de órbitas que describen los satélites artificiales, los cuales pueden clasificarse de acuerdo a [2]:

- a) Su distancia de la Tierra (geosíncrona, geostacionaria, de baja altura, de media altura y excéntricas).
- *Órbita Geosíncrona*: Es una órbita circular con un periodo de un día sideral. Para tener este periodo la órbita debe tener un radio de 42,164.2 km. (desde el centro de la Tierra).
 - *Órbita Geoestacionaria (GEO)*: Este tipo de órbita posee las mismas propiedades que la geosíncrona, pero debe de tener una inclinación de cero grados respecto al plano del ecuador y viajar en la misma dirección en la cual rota la Tierra. Un satélite geoestacionario aparenta estar en la misma posición relativa a algún punto sobre la superficie de la Tierra, lo que lo hace muy atractivo para las comunicaciones a gran distancia.
 - *Órbitas de Baja Altura (LEO)*: Estas órbitas se encuentran en el rango de 640 km a 1,600 km entre las llamadas región de densidad atmosférica constante y la región

* DBS: Servicio directo de radiodifusión por satélite (*Direct Broadcast Service/Satellite*).

de los cinturones de Van Allen. Los satélites de órbita baja circular son muy usados en sistemas de comunicaciones móviles.

- *Órbitas de Media Altura (MEO)*: Son las que van desde 9,600 km hasta la altura de los satélites geosíncronos. Los satélites de órbita media son muy usados también en las comunicaciones móviles.

b) Su plano orbital con respecto al Ecuador (ecuatorial, inclinada y polar).

- *Órbitas Ecuatoriales*: En este tipo de órbita la trayectoria del satélite sigue un plano paralelo al ecuador, es decir tiene una inclinación de 0° .
- *Órbitas Inclinadas*: En este curso la trayectoria del satélite sigue un plano con un cierto ángulo de inclinación respecto al ecuador.
- *Órbitas Polares*: En esta órbita el satélite sigue un plano paralelo al eje de rotación de la Tierra pasando sobre los polos y perpendicular la ecuador.

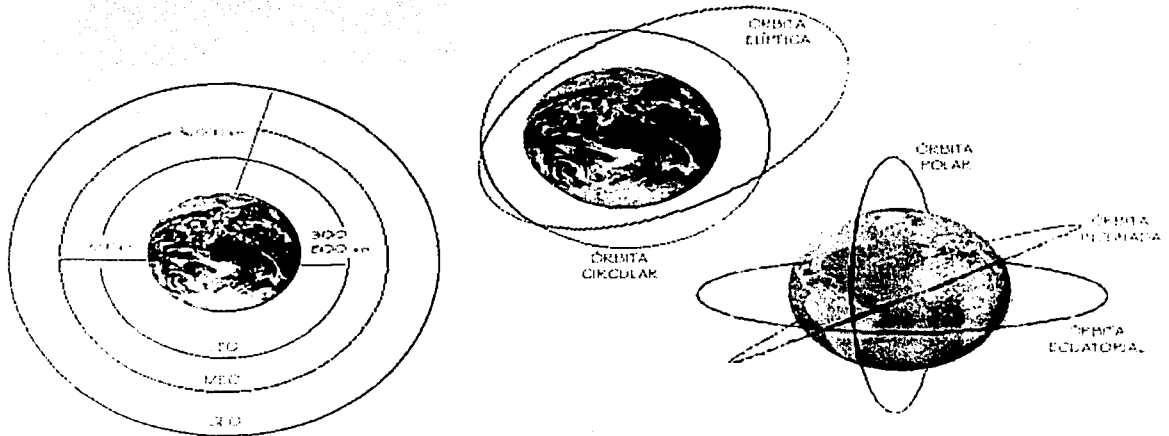
c) La trayectoria orbital que describen (circular y elíptica).

- *Órbitas circulares*: Se dice que un satélite posee una órbita circular si su movimiento alrededor de la Tierra es precisamente una trayectoria circular. Este tipo de órbita es la que usan los satélites geosíncronos.
- *Órbitas elípticas (Molniya)*: Estos satélites tienen una órbita de geometría elíptica de gran excentricidad con un ángulo de inclinación generalmente elevado. Este tipo de órbita poseen un perigeo (aprox. 600km) y un apogeo (aprox. 40000km).

Los satélites con órbitas circulares se mantienen más o menos a la misma distancia de la Tierra pero su posición respecto a la superficie varía cada momento. Es la más común y conocida de las órbitas. Por su parte los satélites de órbitas elípticas, tienen la característica de permanecer más tiempo viendo un mismo lugar de la Tierra y sus órbitas son mucho más largas.

Los satélites no síncronos o también llamados orbitales, giran alrededor de la Tierra en un patrón elíptico o circular de baja altitud. Si el satélite está girando en la misma dirección que la rotación y a una velocidad angular superior que la de la Tierra, la órbita se llama órbita progrado. Si el satélite está girando en la dirección opuesta a la rotación de la Tierra, o en la misma dirección, pero a una velocidad angular menor que ésta, la órbita se llama órbita retrograda.

De esta manera, los satélites no síncronos están alejándose continuamente o cayendo a la Tierra y no permanecen estacionarios con relación a ningún punto en particular de la Tierra. Pasan por arriba de un determinado punto entre 4 y 6 veces al día. La duración de cada pase varía dependiendo de la órbita, pero en promedio podemos decir que entre 10 y 18 minutos están disponibles para que los operemos. Tenemos pues más de una hora diaria para usarlo.



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Figura 1.3 Órbitas satelitales

Una desventaja de los satélites orbitales es la necesidad de equipo complicado y costoso para rastreo en las estaciones terrenas. Cada estación terrenas debe localizar el

satélite conforme está disponible en cada órbita y después unir sus antenas al satélite y localizarlo cuando pasa por arriba. Una gran ventaja de los satélites orbitales es que los motores de propulsión no se requieren a bordo de los satélites para mantenerlos en sus órbitas respectivas.

Otros parámetros característicos de los satélites orbitales son el apogeo y perigeo. El apogeo es la distancia más lejana a la Tierra que un satélite orbital alcanza; el perigeo es la distancia mínima; la línea colateral es la línea que une al perigeo con el apogeo en el centro de la Tierra.

Patrones orbitales

Una vez lanzado un satélite permanece en órbita debido a que la fuerza centrífuga, causada por su rotación alrededor de la Tierra, es contrabalanceada por la atracción gravitacional de la Tierra. Entre más cerca gire de la Tierra el satélite, más grande es la atracción gravitacional y mayor será la velocidad requerida para mantenerlo alejado de la Tierra. Los satélites de baja altitud tienen órbitas cercanas a la Tierra (160 a 480 km de altura), viajan aproximadamente a 28160 km/hr. A esta velocidad se requiere aproximadamente de 1 1/2 horas para girar alrededor de toda la Tierra. Consecuentemente el tiempo que el satélite esta visible en una estación terrena en particular, es solamente 1/4 h o menos por órbita. Los satélites de altitud media (9600 a 19300 km de altura) tienen un período de rotación de 5 a 12 horas y permanecen a la vista de una estación terrena específica de 2 a 4 horas por órbita. Los satélites geosíncronos de alta altitud (30570 a 40200 km de altura) viajan aproximadamente a 11070 km por hora y tiene un período de rotación de 24 horas, exactamente el mismo que la Tierra. De esta manera, permanecen en una posición fija con respecto a una estación en Tierra específica y tienen un tiempo de disponibilidad de 24 horas.

1.3.1 ORBITA GEOESTACIONARIA

Se denomina Órbita Sincrónica Geoestacionaria a una órbita circular en la cual el período de traslación de un satélite, natural o artificial, coincide con el período de

rotación del astro en torno al cual orbita. Como mencionamos en el punto anterior, si esta órbita es ecuatorial, el resultado es que el satélite se mantiene permanentemente fijo en el firmamento para un observador situado justo debajo de él. En el caso de la Tierra, la altitud de la órbita geostacionaria sobre el nivel del mar es de 35786 km [9].

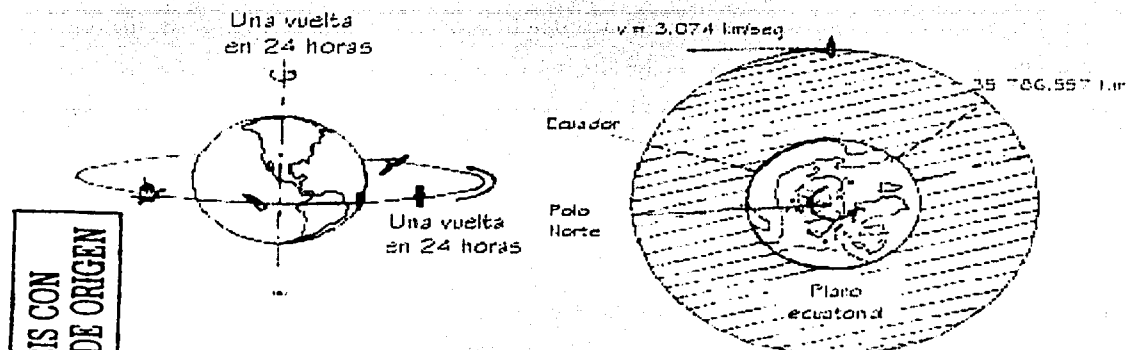


Figura 1.4 Órbita geostacionaria

La órbita geostacionaria es utilizada por los satélites de comunicaciones, debido a que permite que éstos se encuentren situados permanentemente sobre un mismo lugar. Si se coloca en ella un satélite que rote alrededor del eje polar de la Tierra, con su misma dirección y en el mismo período sideral que el de su rotación, ese satélite mantiene inmovilidad en relación con nuestro planeta. Tal es el grado de ocupación, que esta región del espacio empieza a estar saturada.

Tres son los elementos básicos que determinan la fijeza y estabilidad relativas de estos satélites:

1. Posición ecuatorial (longitud),
2. Su período de rotación equivalente a 23 horas, 56 minutos, 4 segundos, aproximadamente y
3. Su altura.

Del período del satélite y de la atracción de la masa total de la Tierra, aplicada a su centro, se deducen, usando la tercera Ley de Kepler, que el radio de la órbita geoestacionaria y su altura nominal son de 42.164.175 km y 35 786.557 Km, respectivamente.

Sobre un satélite geoestacionario actúan fuerzas o factores naturales y artificiales. De los primeros, el fundamental es la fuerza de la gravedad, que permite al satélite mantenerse a la altura requerida. Otros factores secundarios como el achatamiento de la tierra, la forma elíptica del ecuador, la atracción del sol y la luna y la presión de la radiación solar tienden, al contrario, a desplazar el satélite de su altura y posición nominales e inclinación con respecto a la Tierra. Las fuerzas artificiales, producidas por el hombre hacen posible la colocación del satélite en órbita y mantenerlo en esas velocidades y posición. El satélite se sitúa dentro de un cubo imaginario de unos 70 km de arista [8].

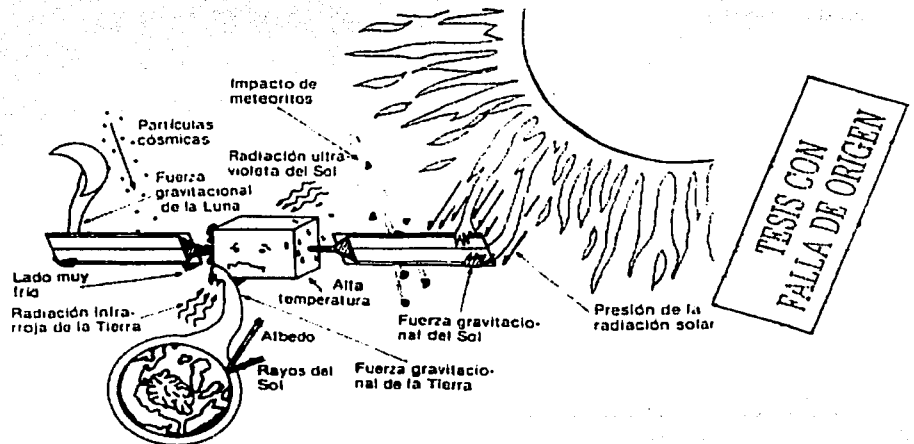


Figura 1.5 Fuerzas y otros factores que alteran la estabilidad del funcionamiento de un satélite

La órbita geoestacionaria es un recurso natural limitado, como lo reconoce el Convenio Internacional de Telecomunicaciones [10]. Esta limitación, que se traduce en la

práctica en la posibilidad real de saturación de la órbita, proviene de los siguientes hechos:

1. Saturación física de toda la órbita o de uno o más segmentos de la misma, debido a la colocación en ella de un número mayor de satélites de los que pueden operar sin interferencias, pues los satélites están colocados aproximadamente cada 2°.
2. Posibilidad de colisiones entre satélites, sobre todo cuando se coloquen en órbita las grandes superestructuras que se proyectan para transmisión de energía solar.
3. Privación de la energía solar que utilizan los satélites pequeños para su operación, debido a la sombra que proyectarían esas grandes estructuras.
4. Saturación del espectro de frecuencias que se utilizan para las comunicaciones por satélites.

De estas limitaciones, la última es la más inminente y se advierte ya en los complicados procedimientos que deben observarse para la asignación de esas frecuencias.

Cada satélite geoestacionario ofrece la ventaja de 24 horas de servicio sobre aproximadamente un tercio de la superficie terrestre. Esta clase de satélites utiliza un sistema de antenas fijas, bastante más simple que el que se usa para satélites colocados en otras órbitas.

El tema del carácter y utilización de la órbita geoestacionaria ha sido uno de los más sensibles y difíciles en la agenda de las Naciones Unidas. Luego de muchos años de debates y de posiciones antagónicas entre los países industrializados y de aquellos en vías de desarrollo, durante el 39° período de sesiones de la Subcomisión de Asuntos Jurídicos de la Comisión de las Naciones Unidas sobre la Utilización Pacífica del Espacio Ultraterrestre (COPUOS), que tuvo lugar en Viena del 27 de marzo al 7 de abril de 2000, se obtuvo de las partes que acepten que el tema del acceso equitativo a la órbita sincrónica geoestacionaria está bien reglamentado por la UIT.

1.3.1.1 Parámetros típicos de la órbita geostacionaria.

| PARÁMETROS DE UNA ÓRBITA GEOESTACIONARIA IDEAL | |
|---|------------------------|
| Período del satélite (T) | 23 hr, 56 min., 4 seg. |
| Radio de la Tierra (r) | 6,377 km |
| Altitud del satélite (h) | 35,779 km |
| Radio de la Órbita (d = r+h) | 42,157 km |
| Inclinación (respecto al ecuador) | 0 |
| Velocidad tangencial del satélite (v) | 3.074 km/seg |
| Excentricidad de la órbita | 0 |

Tabla 1.2 Parámetros típicos de la orbita geostacionaria

1.3.1.2 Patrones de radiación: huellas

Se llama *huella satelital* a la representación geográfica del patrón de radiación de la antena de un satélite. Las líneas de contorno representan los límites de la densidad de potencia de igual recepción, que es más fuerte en el centro de la huella satelital y más débil en su orilla.

1.3.2 REUTILIZACIÓN DE FRECUENCIAS

Cuando se llena una banda de frecuencia asignada, se puede lograr la capacidad adicional para reutilizar el espectro de la frecuencia. Incrementando el tamaño de una antena, el ancho del haz de la antena también se reduce, es decir, se hace más directiva. Por lo tanto, diferentes rayos de la misma frecuencia pueden ser dirigidos a diferentes áreas geográficas de la Tierra. Esto se llama reutilizar la frecuencia. Otro método para reutilizar la frecuencia es usar la polarización dual. Diferentes señales de información se pueden transmitir a diferentes receptores de estaciones terrenas usando la misma banda de frecuencias, simplemente orientando sus polarizaciones electromagnéticas de una manera ortogonal (90° fuera de fase). La polarización dual es menos efectiva debido a que la atmósfera de la Tierra tiene una tendencia a reorientar o repolarizar una onda electromagnética conforme pasa. Reutilizar es, simplemente, otra manera de incrementar la capacidad de un ancho de banda limitado [11].

1.4 EL SEGMENTO ESPACIAL

Un satélite de comunicaciones comprende un conjunto de tecnologías que se agrupan para un fin: proporcionar una plataforma de retransmisión. Cada tecnología, o varias de ellas, constituye un subsistema, y la conjunción de subsistemas formará el satélite.

En la siguiente tabla se presentan los subsistemas de un satélite típico de comunicaciones, con su función y principales características cuantitativas [6].

| Subsistema | Función | Principales características cuantitativas |
|---------------------------------------|--|--|
| Comunicaciones | Amplificar las señales y cambiar su frecuencia | Potencia del Transmisor, ancho de banda, G/T. |
| Eléctrico | Suministrar electricidad con los niveles adecuados de voltaje y corriente | Voltaje, corriente. |
| Antenas | Recibir y transmitir señales de radiofrecuencia | Ancho de haz, orientación, ganancia, saturación de densidad de flujo de portadora. |
| Estructura | Alojar todos los equipos y darle rigidez al conjunto. Sostiene al satélite durante el lanzamiento | Frecuencias de resonancia, fuerzas estructurales. |
| Posición y orientación | Mantiene las antenas apuntadas a las estaciones terrenas y las células solares al sol | Tolerancias de role, pitch y yaw. |
| Control Térmico | Mantiene los rangos de temperatura adecuados durante la vida del satélite, con y sin eclipses. | Rango de temperatura media del satélite y rangos para componentes críticos. |
| Propulsión | Mantiene la posición orbital, controla las correcciones de altitud, cambios orbitales y despegue en la órbita inicial. | Impulso específico, masa de propelente y aceleración. |
| Telecontrol, rastreo y comando (TT&C) | Monitorea el estado del satélite, sus parámetros orbitales y controla sus operaciones. | Precisión de medidas de velocidad y posición, número de puntos de telemetría y número de comandos. |
| Satélite completo | Proporcionar operaciones de comunicaciones satisfactorias entre las estaciones terrenas | Masa, potencia primaria, tiempo de vida útil, número de canales y tipos de señales. |

Tabla 1.3 Subsistemas de un satélite

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Al diseñar un satélite es primordial conocer exactamente su peso, pues esto es de gran importancia al ponerlo en órbita, dado que el costo del lanzamiento depende del peso del satélite. Se debe contar con un cohete de lanzamiento que contenga al satélite. Cada uno de los subsistemas del satélite supone un porcentaje de masa respecto al total. La masa total de transpondedores y antenas se denomina carga útil [12].

1.5 EL SEGMENTO TERRESTRE.

Estaciones terrenas

Una estación terrena satelital es un conjunto de equipo de comunicaciones y de cómputo que puede ser terrestre (fijo y móvil), marítimo o aeronáutico. Las estaciones terrenas pueden ser usadas en forma general para transmitir y recibir señales del satélite. Pero en aplicaciones especiales solo pueden recibir o solo pueden transmitir. A continuación se enumeran cada uno de los subsistemas básicos que integran una estación terrena satelital [13].

1. Antena
 - a. Diplexor
 - b. Motores de movimiento
 - c. Alimentador y plato reflector
2. Transmisor
 - a. Multiplexor
 - b. Modulador
 - c. Convertidor de frecuencia
 - d. Amplificador de alta potencia (HPA)
3. Receptor
 - a. Amplificador de bajo ruido (LNA)
 - b. Convertidor de frecuencia reductor
 - c. Demodulador
 - d. Demultiplexor

4. Rastreo
 - a. Control de apuntamiento de la antena
 - b. Receptor de rastreo
 - c. Servomecanismo del antena
 - d. Entrada de datos de apuntamiento

5. Alimentación de energía eléctrica
 - a. Red eléctrica comercial
 - b. Planta y baterías locales

**TESIS
FALLA DE ORIGEN**

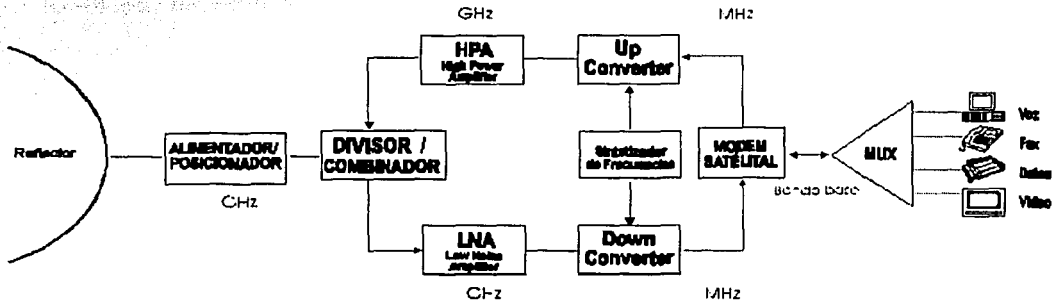


Figura 1.7 Diagrama genérico de una estación terrena transmisora/receptora

1.5.1 POSICIONAMIENTO DE LA ANTENA

Para el posicionamiento de la antena debemos tomar en cuenta parámetros como son la latitud y longitud relativa, ángulo azimut y de elevación [3].

1.5.1.1 Latitud - Longitud

Como primera medida para describir el paso de un satélite en órbita, deberemos designar un punto de observación o un punto de referencia. Este punto podrá tratarse de un lugar distante, tal como una estrella, o un punto en la superficie de la Tierra, o también el centro de la Tierra, que a su vez es el centro de gravedad del cuerpo principal.

En caso de tomar como lugar de observación un punto en la superficie de la Tierra, deberemos estar en condiciones de localizar dicho punto mediante algún método. Este método de localización es a través meridianos. Estas líneas conforman un cuadrículado sobre la superficie de la Tierra. Las líneas verticales se denominan Longitud y las líneas horizontales se denominan Latitud.

Las líneas de Longitud se extienden desde el Polo Norte al Polo Sur, es decir, son círculos iguales al contorno de la Tierra que se interceptan en los polos. Se ha definido por convención, como primer meridiano o Longitud cero grados, al meridiano que pasa por la ciudad de Greenwich, UK, tomando el nombre de dicha ciudad.

En total son 360 líneas, lo que equivale a 180 círculos completos. De esta manera se componen los 360 grados de Longitud, partiendo desde la línea de Longitud 0° hacia el Este. Las líneas de Latitud están conformadas por 180 círculos paralelos y horizontales, siendo el círculo mayor el ubicado en la línea del Ecuador denominada Latitud cero grados. De esta forman existen 90° hacia el hemisferio Norte, denominados Latitud Positiva y 90° hacia el hemisferio Sur, denominados Latitud Negativa.

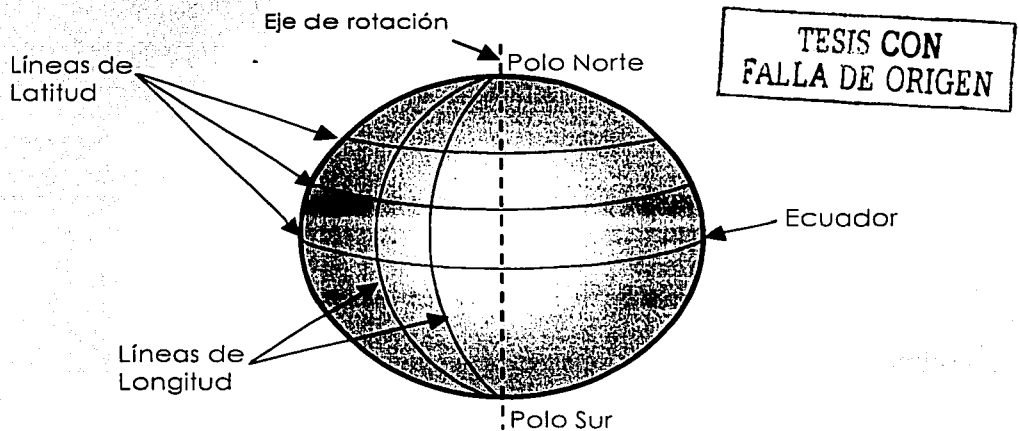


Figura 1.8 Líneas de Latitud y Longitud

Por lo tanto mediante la intersección de las coordenadas de Latitud y Longitud podremos localizar un punto que este sobre la superficie de la Tierra. En cuanto a un satélite, este se encuentra en el espacio, y su posición puede ser estimada con una Latitud, una Longitud y una altura. Dicha altura estará referida a un punto sobre la Tierra que es la intersección de la recta que une al satélite con el centro de la Tierra y la superficie terrestre.

1.5.1.2 Ángulos de vista

Para orientar una antena desde una estación terrena hacia un satélite, es necesario conocer el ángulo de elevación y azimut. Éstos se llaman ángulos de vista.

Ángulo de elevación

El ángulo de elevación es el ángulo formado entre la dirección de viaje de una onda radiada desde una antena de estación terrena y la horizontal, o el ángulo de la antena de la estación terrena entre el satélite y la horizontal. Entre más pequeño sea el ángulo de elevación, mayor será la distancia que una onda propagada debe pasar por la atmósfera de la Tierra. Como cualquier onda propagada a través de la atmósfera de la Tierra, sufre absorción y también puede contaminarse severamente por el ruido. De esta forma, si el ángulo de elevación es demasiado pequeño y la distancia de la onda que esta dentro de la atmósfera de la Tierra es demasiado larga, la onda puede deteriorarse hasta el grado que proporcione una transmisión inadecuada. Generalmente, 5° es considerado como el mínimo ángulo de elevación aceptable.

Azimut

Azimut se define como el ángulo de apuntamiento horizontal de una antena. Se toma como referencia el Norte como cero grados, y si continuamos girando en el sentido de las agujas del reloj, hacia el Este, llegaremos a los 90° de Azimut. Hacia el Sur tendremos los 180° de Azimut, hacia el Oeste los 270° y por ultimo llegaremos al punto

inicial donde los 360° coinciden con los 0° del Norte. El ángulo de elevación y el azimut, dependen ambos, de la latitud de la estación terrena, así como el satélite en órbita.

Para un satélite geosíncrono, en una órbita ecuatorial, el procedimiento es el siguiente: de un buen mapa se determina la latitud y longitud de la estación terrestre, luego conociendo la longitud del satélite en interés, se calcula la diferencia (ΔL), entre la longitud del satélite y la longitud de la estación terrena. Entonces, de la siguiente figura determinamos el azimut y ángulo de elevación para la antena (ingresando al gráfico con la diferencia ΔL , y con la latitud de la estación terrena).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

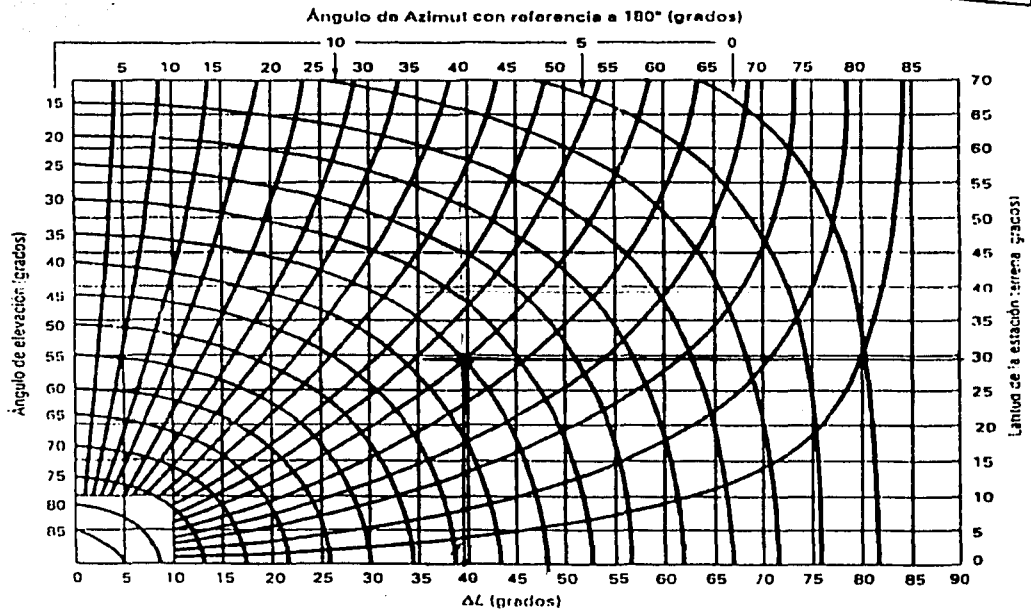


Figura 1.9 Azimut y ángulo de elevación para las estaciones terrenas situadas en el hemisferio norte (referidas a 180°)

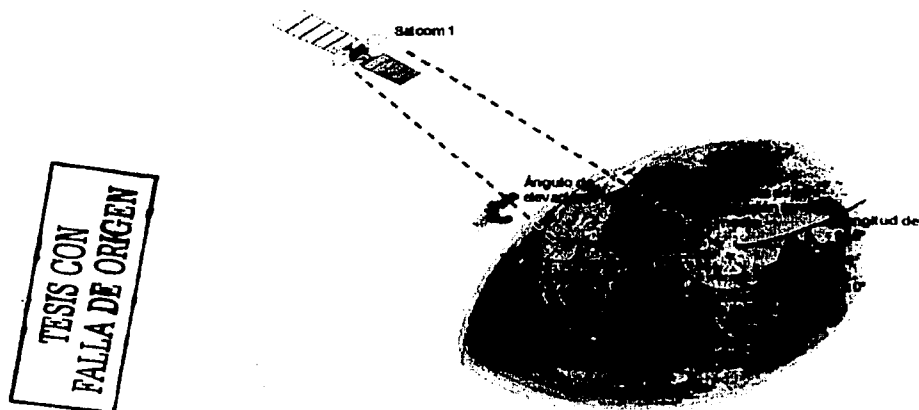


Figura 1.10 Ángulos de vista (Azimut y ángulo de elevación)

1.6 SATÉLITES MEXICANOS

La fundación del sistema de satélites mexicanos data de finales de los años sesenta. Los primeros años de la década de los ochenta fueron de búsqueda de capacidad en algunos satélites extranjeros, de modo que a mediados de 1981 se empezó a rentar espacio en tres satélites: 2 del consorcio INTELSAT, para comunicaciones nacionales e internacionales y el norteamericano Westar III, para cubrir las emisiones de la televisión mexicana a ciudades del vecino país del norte.

El 17 de junio de 1985 fue lanzado el **Morelos I** desde el Centro Espacial de Cabo Cañaveral, Florida, por medio del transbordador espacial Discovery, y el 29 de agosto de ese mismo año, inició finalmente sus operaciones al enlazar la casa en donde naciera José María Morelos y Pavón, en Morelia Michoacán, y la Torre Central de Telecomunicaciones de México, D.F. Cinco meses después, el 26 de noviembre del mismo año, despegó el transbordador Atlantis, con el **Morelos II** [14].

En 1989, se tomó la decisión para el emplazamiento especial de un nuevo satélite nacional, que por Acuerdo del Ejecutivo Nacional sería denominado "**Solidaridad**". La saturación del Sistema Morelos, apresuró la autorización para la realización inmediata de las gestiones a fin de iniciar el proceso de licitación del Sistema de Satélites Solidaridad, lanzados en 1993-94, con lo que se iniciaba la sustitución del Morelos I y II y la segunda generación de comunicaciones espaciales para México.

En 1997 se privatizaron los satélites que eran propiedad del Estado, constituyendo la empresa Satélites Mexicanos, S.A. de C.V. (Satmex).

Satmex 5 es el primer satélite puesto en órbita bajo contrato de una empresa privada, y es el único satélite latinoamericano con cobertura en todo el continente en una sola huella satelital. Este satélite ha apoyado a la empresa Satmex para que proporcione servicios en el ámbito regional y continental. Su gran capacidad en banda Ku permite la transmisión de señales de televisión directa al hogar a antenas menores de 1 m de diámetro; su PIRE y sus márgenes de G/T le dan capacidad suficiente para hacer radiodifusión digital con gran confiabilidad. Además, los haces de cobertura le brindan servicio a casi todo el continente americano.

Satmex 6 El más reciente satélite de Satélites Mexicanos. Con una inversión total de cerca de 300 millones de dólares (entre costos por diseño, construcción, lanzamiento y operación), el satélite de 5.6 toneladas de peso total está programado para lanzarse en el segundo semestre de 2003 desde las plataformas de Arianespace, en la Guyana Francesa [14][15][16].

En la tabla 1:4 se muestra un resumen de los satélites mexicanos con sus características.

CAPÍTULO I

| SATELITE | ORBITA | LANZAMIENTO | TRANSPORTE | MISION | ESTATUS | COBERTURA | FRECUENCIA |
|---------------|---|--|--------------------------------------|----------------|------------------------------------|--|---|
| MORELOS-1 | Geostacionario 113.5°W | Junio 17, 1985 7:33:00 a.m. EST Florida, USA | DISCOVERY STS 51-G | Comunicaciones | Fuera de servicio Mar-94 | | |
| MORELOS-2 | Geostacionario 117.8°W | Noviembre 26, 1985 7:29:00 p.m EST Florida, USA | ATLANTIS STS 61-B | Comunicaciones | Operativo | México y sur de USA | Banda C 5.925 a 6.425 GHz (rx) 3.7 a 4.2 GHz (tx) Banda Ku 14 a 14.5 GHz (rx) 11.7 a 12.2 GHz (tx) |
| SOLIDARIDAD-1 | Geostacionario 109.2°W | Noviembre 20, 1993 1:17 UT Kourou, Guyana Francesa | ARIANE 4 Type 44LP V61 | Comunicaciones | Operativo | BANDA C: Los Angeles, San Antonio y Miami México, Argentina, Chile, Venezuela, Colombia y América Central | 36 MHz Banda C |
| | | | | | | BANDA C: Los Angeles y San Antonio México, Belice y Guatemala | 72 MHz Banda C |
| | | | | | | BANDA Ku: Principales ciudades USA, México, Guatemala, Belice y Cuba | 54 MHz Banda Ku |
| SOLIDARIDAD-2 | Geostacionario 113.0°W | Octubre 8, 1994 1:07 UT Kourou, Guyana Francesa | ARIANE 4 Type 44L V68 | Comunicaciones | Operativo | BANDA C: México, Sur USA, Centro América Caribe, América del Sur excepto Brasil. | Banda C 5.9 a 6.4 GHz (Rx) 3.7 a 4.2 GHz (Tx) |
| | | | | | | BANDA Ku: México Ciudades cds de USA | Banda Ku 14 a 14.5 GHz (Rx) 11.7 a 12.2 GHz (Tx) |
| | | | | | | BANDA L: México y su mar territorial | Banda L 14.248 a 14.265 GHz (Rx) 1.528 a 1.539 GHz (Tx) y 1.629 a 1.66 GHz (Rx) 11.9515 a 11.9685 GHz (Tx) |
| UNAMSAT-1 | — | Marzo 28, 1995 9:00 GMT Plesetsk, Rusia | START | Experimental | Destruído en lanzamiento | | |
| UNAMSAT-B | Polar LEO (Low Earth Orbit) 83° de inclinación | Septiembre 5, 1996 Plesetsk, Rusia | KOSMOS 3M | Experimental | Fuera de servicio Sept. 6, 1996 | | |
| SATMEX-5 | Geostacionario 116.8°W | Diciembre 6, 1998 00:43 UT Kourou, Guyana Francesa | ARIANE 4 Type 42L | Comunicaciones | Operativo | BANDA C: Principales ciudades de USA, México, Argentina, Venezuela, Colombia, Chile, América Central y el Caribe BANDA Ku: Principales ciudades de USA, México, Argentina, Venezuela, Colombia, Chile, América Central y el Caribe | 36 MHz Banda C 36 MHz Banda Ku |

Tabla 1.4 Resumen de los satélites mexicanos con sus características

CAPITULO 2

CARACTERÍSTICAS DE LA BANDA Ku

2.1 ¿PORQUÉ BANDA KU?

Las comunicaciones satelitales están actualmente en el proceso de una evolución, moviéndose de las bandas de frecuencia que han estado en uso por décadas, -banda C, banda X, SHF, etc.- a bandas más altas localizadas arriba de 10 GHz. Estas bandas, designadas como banda Ku (11.2-14.5 GHz), banda Ka (17-30 GHz) y banda EHF (30 a 300 GHz), ofrecen anchos de banda amplios, y tasas de transmisión de datos altas.

Las ventajas de esas bandas son disminuidas por el incremento de los problemas de propagación conforme la frecuencia de operación se incrementa. La atenuación causada por lluvia en la trayectoria puede ser un problema muy serio, por lo cual se requiere de un cuidadoso diseño y "*márgenes de lluvia*" adecuados para el éxito en el rendimiento de los sistemas.

Hay otros mecanismos de propagación que afectan el rendimiento de un sistema de comunicación satelital los cuales deben también ser tomados en cuenta por el planeador del sistema. Estos incluyen la atenuación por gases, nubes y nieblas, depolarización por partículas de hielo y lluvia, centelleo y ruido atmosférico. Sin embargo, el más dominante es el efecto de atenuación debido a la lluvia [17].

Por lo anterior y considerando la necesidad que el país tiene de caracterizar sus comunicaciones satelitales, banda Ku, y la gran influencia que la lluvia tiene en la propagación electromagnética en esa banda, se propuso la presente tesis cuyo objetivo fue la selección de un modelo de precipitación pluvial para ser utilizado en las

comunicaciones satelitales en la sombra del satélite Satmex 6 en banda Ku, y a su vez un estudio del comportamiento de los modelos de predicción de atenuación por lluvia más importantes en la actualidad.

2.2 SERVICIOS COMERCIALES

Como mencionamos en el capítulo anterior, el rango de la banda Ku es de 11.2 a 14.5 GHz. Por ser un recurso limitado, el ancho de banda debe ser regulado de manera internacional [5].

La organización que se encarga de la asignación de las bandas de frecuencia es la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT, específicamente en las Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones (CMRs).

La UIT divide al mundo en tres regiones:

Región 1: Europa, CEI, Mongolia, Turquía, Medio Oriente y África.

Región 2: América.

Región 3: Asia y Oceanía.

Las CMRs tienen el poder para atribuir bandas de frecuencia a los servicios de radiocomunicaciones en las tres regiones. Posteriormente, estas atribuciones son inscritas en el Cuadro de Atribución de Frecuencias del Reglamento de Radiocomunicaciones, donde también se incluyen los Planes de Adjudicación y de Asignación de Frecuencias [18].

Debido a la escasez del espectro, cada banda de frecuencia puede ser atribuida de dos maneras: atribuciones exclusivas (para un solo servicio de radiocomunicación) o atribuciones con compartición de frecuencias (dos o más servicios de radiocomunicaciones). En éste último hay dos categorías para los servicios, pueden ser servicios primarios, que tienen prioridad, o servicios secundarios, que no deben causar interferencia con los servicios primarios.

La siguiente tabla muestra la atribución para la región 2 de la UIT de la banda Ku[19].

| Rango de Frecuencia | Ancho de Banda | Servicios Atribuidos |
|---------------------|----------------|--|
| 11.7 - 12.1 GHz | 400 MHz | FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio - Tierra) Móvil salvo móvil aeronáutico |
| 12.1 - 12.2 GHz | 100 MHz | FIJO POR SATÉLITE (espacio - Tierra) |
| 12.2 - 12.7 GHz | 500 MHz | FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico RADIODIFUSIÓN RADIODIFUSIÓN POR SATÉLITE |
| 12.7 - 12.75 GHz | 50 MHz | FIJO FIJO POR SATÉLITE (Tierra - espacio) MÓVIL salvo móvil aeronáutico |
| 12.75 - 13.25 GHz | 500 MHz | FIJO FIJO POR SATÉLITE (Tierra - espacio) MÓVIL Investigación espacial (espacio lejano) (espacio-tierra) |
| 13.25 - 13.4 GHz | 150 MHz | EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (activo) INVESTIGACIÓN ESPACIAL (activo) RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA |
| 13.4 - 13.75 GHz | 350 MHz | EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (activo) INVESTIGACIÓN ESPACIAL RADIOLOCALIZACIÓN Frecuencias patrón y señales horarias por satélite (Tierra - espacio) |
| 13.75 - 14 GHz | 250 MHz | FIJO POR SATÉLITE (Tierra - espacio) RADIOLOCALIZACIÓN Frecuencias patrón y señales horarias por satélite (Tierra - espacio) Investigación espacial |
| 14 - 14.25 GHz | 250 MHz | FIJO POR SATÉLITE (Tierra - espacio) RADIONAVEGACIÓN Investigación espacial Móvil por satélite (Tierra - espacio) salvo móvil aeronáutico por satélite |
| 14.25 - 14.3 GHz | 50 MHz | FIJO POR SATÉLITE (Tierra - espacio) RADIONAVEGACIÓN Investigación espacial Móvil por satélite (Tierra - espacio) salvo móvil aeronáutico por satélite |

| Rango de Frecuencia | Ancho de Banda | Servicios Atribuidos |
|---------------------|----------------|--|
| 14.3 - 14.4 GHz | 100 MHz | FIJO POR SATÉLITE (Tierra - espacio) Móvil por satélite (Tierra - espacio) salvo móvil aeronáutico por satélite Radionavegación por satélite |
| 14.4 - 14.47 GHz | 70 MHz | FIJO FIJO POR SATÉLITE (Tierra - espacio) MÓVIL salvo móvil aeronáutico Investigación espacial (espacio - Tierra) Móvil por satélite (Tierra - espacio) salvo móvil aeronáutico por satélite |
| 14.47 - 14.5 GHz | 30 MHz | FIJO FIJO POR SATÉLITE (Tierra - espacio) MÓVIL salvo móvil aeronáutico Móvil por satélite (Tierra - espacio) salvo móvil aeronáutico por satélite Radioastronomía |

Tabla 2.1 Atribución para la región 2 de la UIT de la banda Ku

Deben tomarse las siguientes consideraciones para las frecuencias de la tabla anterior (CMR-97):

En la Región 2, en la banda 11.7 - 12.2 GHz, los transpondedores de estaciones espaciales del servicio fijo por satélite pueden ser utilizados adicionalmente para transmisiones del servicio de radiodifusión por satélite, a condición de que dichas transmisiones no tengan una p.i.r.e. máxima superior a 53 dBW por canal de televisión y no causen interferencia. Esta banda está limitada a servicios nacionales y regionales con previo acuerdo entre las administraciones interesadas (CMR-97 S5.485 y S5.488).

Como atribución adicional en la región 2, la banda 12.2 - 12.7 GHz está también atribuida al servicio fijo por satélite (espacio-Tierra) a título primario, su utilización está limitada a los sistemas de satélites no geostacionarios y está también limitada a servicios nacionales y regionales. (CMR-97 S5.487A). Los servicios de radiocomunicación terrenal existentes y futuros no causarán interferencia perjudicial a los servicios de radiocomunicación espacial (CMR-97 S5.490).

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

La banda 14 - 14.5 GHz puede ser utilizada, en el servicio fijo por satélite (Tierra-espacio), para enlaces de conexión destinados al servicio de radiodifusión por satélite (S5.506).

En resumen, la banda Ku está atribuida para servicio fijo, móvil y radiodifusión por satélite, radiodifusión, exploración de la tierra por satélite, investigación espacial y frecuencias patrón y señales horarias por satélite. Esto es, la banda Ku, está destinada casi exclusivamente a servicios por satélite.

De acuerdo a las atribuciones de la tabla anterior, los servicios comerciales que se proveen por satélites mexicanos en banda Ku por son de voz, datos, Internet, radio, video digital y videoconferencia entre otros.

2.3 FACTORES DE PROPAGACIÓN EN LA BANDA KU

Para comunicaciones vía satélite deben tomarse en cuenta los diferentes factores de propagación atmosférica de las ondas electromagnéticas. La atmósfera no permite el paso de toda la radiación electromagnética, pues para ciertas longitudes de onda es un medio transparente y para otras es un medio opaco. En las longitudes de onda donde la atmósfera se comporta como un medio transparente, se dice que ésta presenta ventanas [17][5].

Las bandas utilizadas para las comunicaciones por satélite fueron cuidadosamente elegidas para evitar estas frecuencias y por tanto la absorción gaseosa es prácticamente despreciable en casi todos los enlaces comerciales. La atenuación resultante es comúnmente menor de 1 dB.

Existen dos bandas de frecuencia donde la absorción es elevada. La primera banda de absorción, causada por el vapor de agua, se encuentra centrada sobre 22.2 Ghz, mientras la segunda banda, causada por el oxígeno, está centrada sobre 60 Ghz. La absorción a cualquier frecuencia es una función de la temperatura, la presión, la humedad de la atmósfera y el ángulo de elevación.

En banda Ku hay factores que pueden impedir las comunicaciones, como lo son:

- Atenuación por partículas en suspensión (tormentas de arena)
- Atenuación por gases
- Atenuación por hidrometeoros
- Polarización
- Ruido
- Variaciones en el ángulo de llegada
- Coherencia del ancho de banda
- Degradación de la ganancia de la antena

Otros mecanismos que alteran la propagación de las ondas radioeléctricas son la reflexión, refracción ionosférica y troposférica, difracción, esparcimiento ionosférico y troposférico. Como consecuencias de esto, se pueden presentar multitrayectorias y pérdidas de propagación [21][20][17].

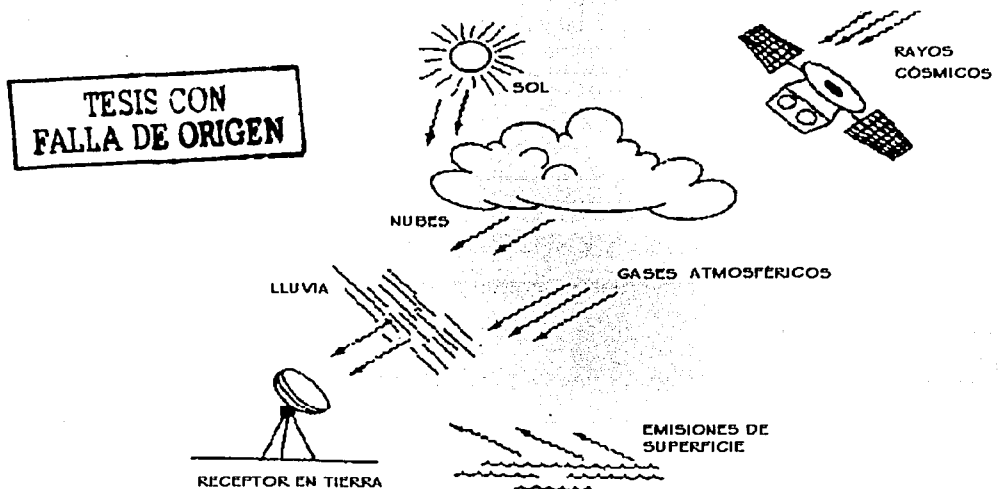


Figura 2.1 Factores de ruido y atenuación en enlaces de bajada

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

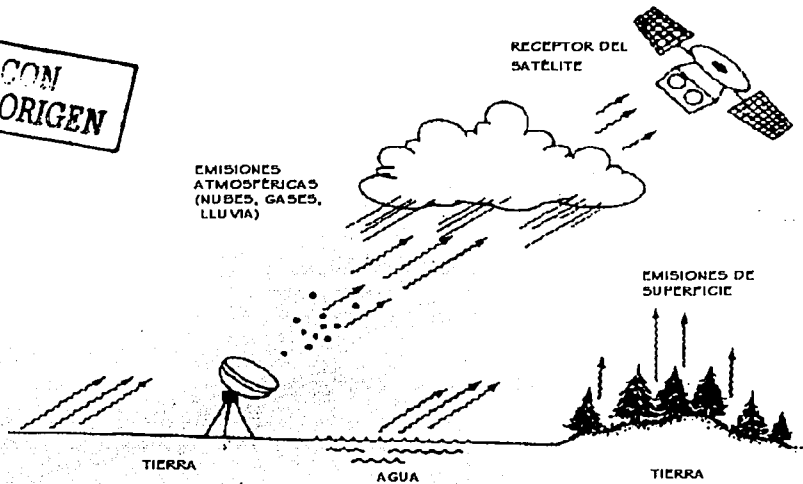


Figura 2.2 Factores de ruido y atenuación en enlaces de subida

Varias técnicas han sido desarrolladas y están siendo continuamente depuradas para cuantificar estos efectos con el fin de mejorar la fiabilidad en el diseño del sistema. Debido a la aleatoriedad asociada con tales procesos, técnicas estadísticas son usadas para modelar sus efectos en la propagación de ondas de radio.

En la mayoría de las frecuencias de interés comercial, la absorción atmosférica es relativamente poco importante. La atenuación es nula con cielo despejado pero puede aumentar a valores mayores durante condiciones de propagación desfavorables.

Los deterioros más importantes de la propagación ocurren en la troposfera e ionosfera. Las primeras decenas de kilómetros de la atmósfera en la que se forman las nubes y la lluvia es conocida como la troposfera, y la región ionizada en el espacio extendiéndose desde aproximadamente 80 a 100 km constituye la ionosfera, también conocida como termosfera, a causa de las altas temperaturas (ver figura 2.3). La ionización en esta región está causada por la interacción de la radiación solar con las moléculas de gas. Por tanto, el contenido de electrones de la atmósfera es alto durante el día y también durante períodos de elevada actividad solar [5].

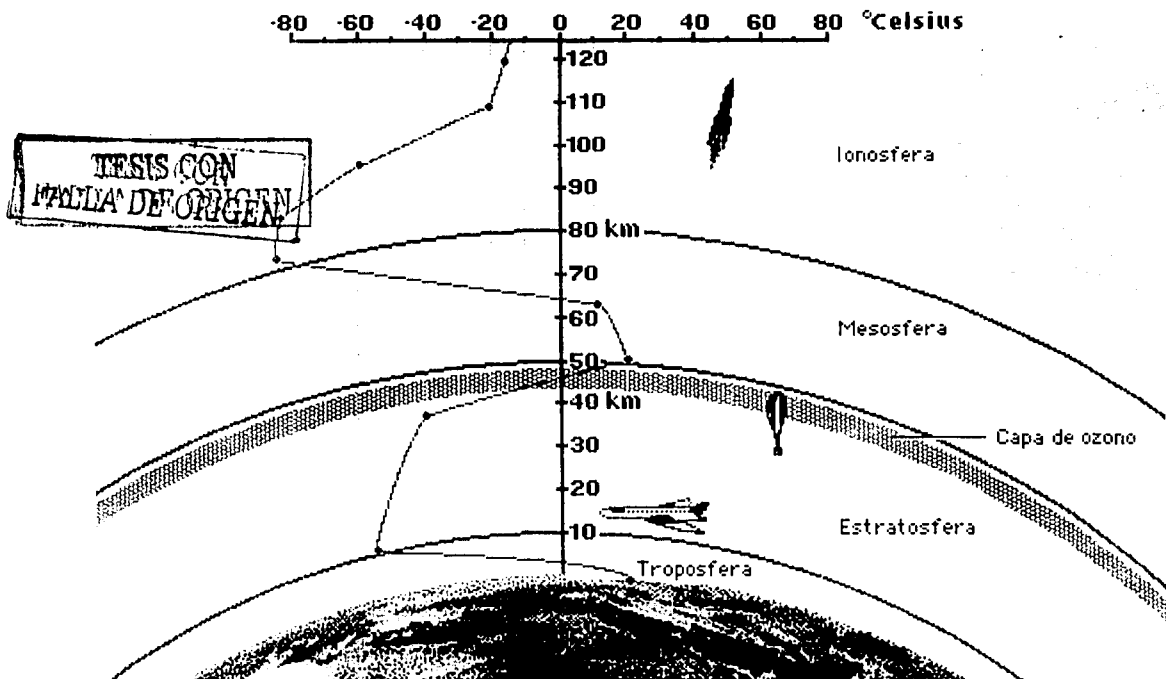


Figura 2.3 Capas de la atmósfera.

Por encima de los 10 Ghz, la absorción en la troposfera comienza a ser significativa. Los principales elementos que absorben energía RF en la troposfera son el agua y el oxígeno. El vapor de agua condensado existente en la atmósfera como lluvia, granizo, hielo, niebla, nubes o nieve, llamados hidrometeoros, produce los deterioros más significativos para la propagación de las ondas de radio [17].

Cabe mencionar que todos los fenómenos que afectan a la propagación de los enlaces satélite-Tierra están recogidos en las recomendaciones UIT [18].



2.3.1 EFECTOS EN LA IONOSFERA

En la ionosfera se presentan principalmente efectos como el centelleo ionosférico y la rotación de la polarización o efecto Faraday.

Fluctuaciones rápidas de la amplitud de la señal, de su fase, de su polarización o de su ángulo de llegada son conocidas como centelleo (*scintillation*). En la ionosfera, el centelleo ocurre debido a las variaciones de pequeña escala del índice de refracción en función de la frecuencia y causadas por concentraciones locales de la ionización. Esto provoca (al igual que en el caso del centelleo troposférico) curvatura en la trayectoria de la onda, variación de la velocidad de la onda y del tiempo de propagación. El centelleo ionosférico decrece a razón de $1/f$ (donde f es la frecuencia) cuando la frecuencia de radio aumenta. La mayor influencia del centelleo se encuentra por debajo de 4 GHz.

El centelleo ionosférico es independiente del ángulo de elevación del trayecto.

La rotación de la polarización de una onda de radio, es causada por la interacción de la onda radioeléctrica con los electrones de la ionosfera, en presencia del campo magnético de la Tierra.

Pero estos efectos son insignificantes para frecuencias mayores a 10 GHz, por lo tanto no se toman en cuenta para comunicaciones en banda Ku.

2.3.2 EFECTOS EN LA TROPOSFERA

En la troposfera se presentan efectos como centelleo, desvanecimiento por multitrayectorias, refracción, desviación del haz e incremento de la temperatura de ruido, pero estos efectos no afectan a señales en banda Ku [17][22].

Los efectos en la troposfera que afectan grandemente a esta banda son la atenuación por hidrometeoros y absorción de gases.

2.3.2.1 Atenuación por partículas en suspensión: tormentas de arena

La atenuación específica (dB/km) es inversamente proporcional a la visibilidad y depende enormemente de la humedad de las partículas. A 14 GHz esta atenuación es del orden de 0.03 dB/km para partículas secas y de 0.65 dB/km para partículas con un 20% de humedad. Si la longitud del trayecto es de 3 km, la atenuación puede llegar a alcanzar 1 dB o 2 dB.

2.3.2.2 Efectos sobre la polarización

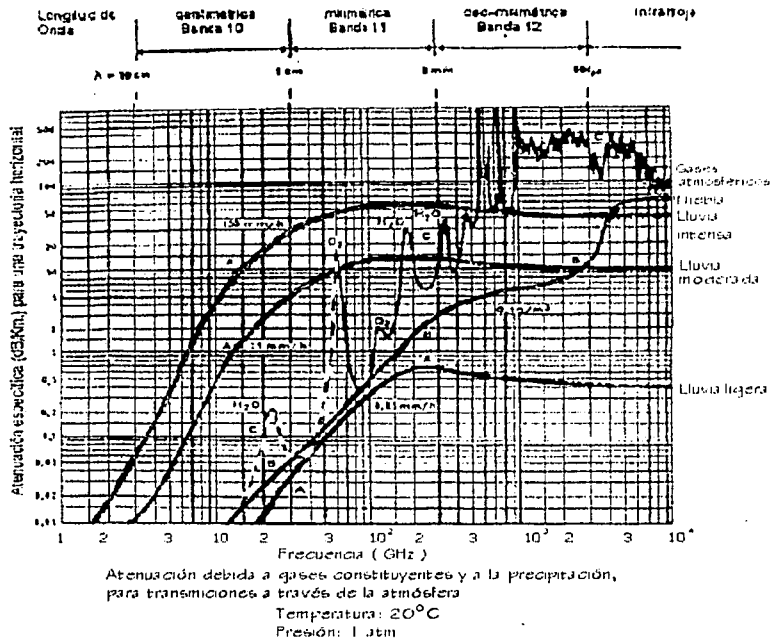
Las ondas electromagnéticas sufren una depolarización en su trayectoria debido a la naturaleza no esférica de los hidrometeoros. El grado del cambio en la polarización de una onda incidente depende del tipo de polarización de la onda y del tamaño, forma y orientación de los hidrometeoros.

2.3.2.3 Atenuación por absorción de gases

De los gases que conforman la atmósfera, sólo para el oxígeno y el vapor de agua se ha encontrado que tienen frecuencias de resonancia en las bandas de interés para las comunicaciones. Podemos observar la atenuación específica por vapor de agua y oxígeno en la figura 2.4. Las frecuencias de resonancia más importantes debajo de 100 GHz, son de 22.235 GHz para vapor de agua y entre 53.5 y 65.2 para oxígeno.

Pero, como podemos apreciar en la figura 2.4, para frecuencias menores a 20 GHz, la atenuación es menor a 0.5 dB.

Cuando se compara con la atenuación por hidrometeoros y otros efectos, la absorción atmosférica es generalmente muy pequeña en comparación, a excepción de enlaces con ángulos de elevación muy pequeños en ambientes húmedos.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 2.4 Atenuación debido a gases y lluvia

2.3.2.4 Atenuación por hidrometeoros

Las precipitaciones son de mayor importancia para sistemas que operan a frecuencias mayores a 10 GHz. Las precipitaciones pueden presentarse de diversas formas en la atmósfera. El término general que se refiere a productos de vapor de agua condensada en la atmósfera es hidrometeor. Dentro de los hidrometeoros se encuentran la lluvia, granizo, nieve, niebla, nubes y hielo.

Atenuación por granizo, hielo y nieve

Los hidrometeoros como el granizo, hielo y nieve producen menor atenuación en las trayectorias de las ondas radioeléctricas, ya que la constante dieléctrica del hielo es menor que la constante dieléctrica del agua.

Se ha encontrado que, en ausencia de atenuación, se presenta una intensa depolarización causada por cristales de hielo a grandes altitudes, que están frecuentemente asociados con tormentas. La depolarización por hielo, por lo tanto, frecuentemente precede o sigue a una lluvia. Pero estos cristales a gran altura no son detectables con aparatos de medición por lo tanto no existe un modelo de predicción.

Atenuación por niebla y nubes

Las nubes y la niebla consisten en general de pequeñas gotas de lluvia de diámetro de menos de 0.1 mm, mientras que las gotas de lluvia miden entre 0.1 y 10 mm de diámetro típicamente. La humedad relativa dentro de una nube suele estar muy cercana al 100%. Nubes de gran altitud, como las cirrus, se componen de cristales de hielo que no contribuyen substancialmente a la atenuación, pero pueden causar efectos de depolarización.

El contenido de agua líquida en nubes puede variar de 0.05 a 2 g/m³ típicamente.

En la siguiente tabla se resume la relación típica del tipo de nubes con el radio de las gotas y la concentración de agua.

| Tipo de nube | Agua líquida (g/m ³) | Radio promedio (µm) |
|-------------------------|----------------------------------|---------------------|
| Cúmulo | 0.15 | 4.9 |
| Estratocúmulo | 0.16 | 4.8 |
| Estratos (sobre tierra) | 0.27 | 5.2 |
| Altoestratos | 0.46 | 6.2 |
| Estratos (sobre agua) | 0.49 | 7.6 |
| Cúmulo congestus | 0.67 | 9.2 |
| Cúmulonimbus | 0.98 | 14.8 |
| Nimbostratos | 0.99 | 9.0 |

Tabla 2.2 Relación típica del tipo de nubes con el radio de las gotas y la concentración de agua

ESTADÍSTICAS CON
 F. C. DE ORIGEN

Debido al pequeño tamaño de las gotas, se puede usar la aproximación Rayleigh en el cálculo de la atenuación específica para nubes y niebla. Esta aproximación es sólo válida para frecuencias menores a 100 GHz.

El coeficiente de atenuación [k_c] para niebla y nubes empleando la aproximación Rayleigh es:

$$k_c = 0.4343 \frac{6\pi}{\lambda} M \operatorname{Im} \left\{ \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right\}$$

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Donde M es el contenido de agua líquida en g/m^3 , λ es la longitud de onda en mm, y m es el índice de refracción de las gotas de agua y es un número complejo. Im denota la parte imaginaria.

La atenuación en banda Ku es menor de 1dB, incluso para los tipos de nubes más intensos.

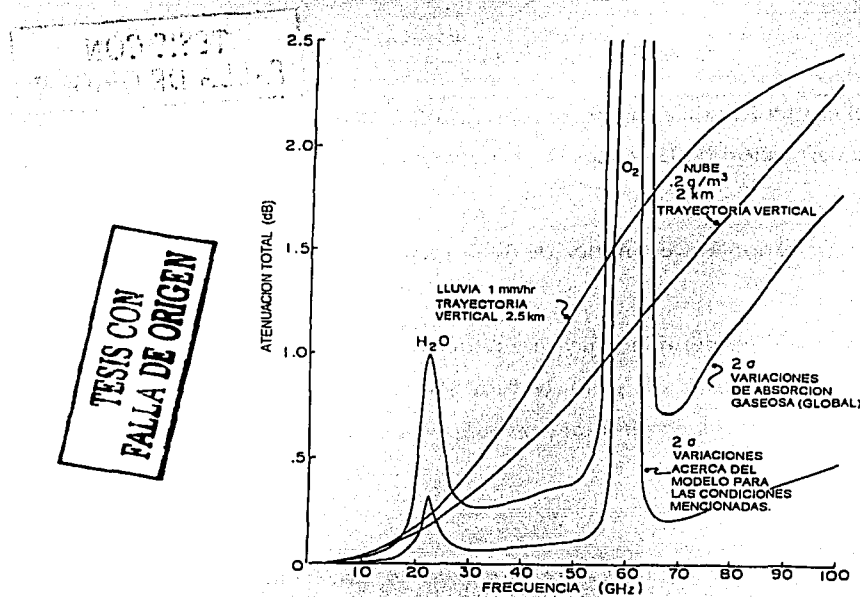
Las capas de niebla se extienden típicamente de 50 a 100 metros sobre la superficie terrestre y pueden alcanzar hasta 0.4 g/m. Debido a que las capas son tan delgadas, la atenuación por niebla en un enlace satelital será muy pequeña, y puede ser despreciable para frecuencias debajo de 100 GHz.

Atenuación por lluvia

A frecuencias superiores a 10 GHz la lluvia es un factor dominante en la propagación, tanto en lo referente a la atenuación como en la depolarización del campo electromagnético. El efecto de las gotas de lluvia sobre la propagación se debe a que la energía electromagnética es absorbida y convertida en calor y parte de las ondas se dispersan, alejándose de la dirección de propagación, por otro lado debido a la forma de las gotas de lluvia de esferoides oblicuos, las componentes horizontal y vertical de las ondas electromagnéticas no sufren atenuación similar (la componente horizontal se atenúa más que la vertical) generando una rotación de la onda hacia la componente vertical. Los efectos de la lluvia sobre la propagación dependen del número de gotas (razón de lluvia) y la distribución de forma y tamaño. Otro problema que produce la

lluvia en la propagación es el aumento de la temperatura de ruido en la estación terrena, debido a la radiación térmica de las gotas de lluvia.

La figura 2.5 muestra la magnitud relativa de las variaciones (atenuación) debido al vapor de agua (absorción gaseosa), una nube de agua líquida, y lluvia que se supone sea excedida durante al menos el 2% del año sobre una trayectoria cenit*.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 2.5 Valores de atenuación a ser excedidos en un 2% del año en latitudes medias

Efectos en la propagación

La tropósfera y los hidrometeoros (lluvia, nieve, nubes, etc.) que contiene, pueden degradar los enlaces de comunicación satelital en cuatro formas [23].

- Reducción de amplitud
- Incremento de ruido térmico
- Incremento de interferencia
- Modulación de la señal

* Cenit: Intersección de la vertical de un lugar con la esfera celeste, por encima de la cabeza del observador

Reducción de amplitud

La amplitud de la señal recibida es reducida debido a la absorción y/o dispersión por oxígeno, vapor de agua, gotas de lluvia y partículas de nubes y niebla. De estos, la absorción por oxígeno en la banda de 55-65 GHz tiene el efecto más grande. La atenuación en esta banda es tan grande que hace la comunicación virtualmente imposible.

Incremento de ruido térmico

La energía radiada por el medio absorbente troposférico (oxígeno, vapor de agua, gotas de lluvia, etc.) es incoherente y de banda amplia. Esta energía es recibida por la antena de la estación terrena con la señal del enlace de bajada, y aparece en la salida del receptor como ruido térmico (indistinguible del ruido térmico generado en el receptor). El efecto de la energía de ruido recibida es tomada en cuenta por la suma de una temperatura de ruido atmosférico a la temperatura de ruido de la estación terrena.

Despreciando las fuentes extraterrestres como el sol, la temperatura de ruido atmosférico es cero cuando la atenuación es cero, y se acerca asintóticamente a la temperatura del medio conforme la atenuación se incrementa. El efecto del ruido térmico sobre el rendimiento del sistema es reducir la relación portadora a ruido del enlace de bajada. Sin embargo, como el incremento de ruido térmico es aditivo, la magnitud del efecto depende enormemente de la temperatura de ruido de la estación terrena en ausencia de ruido atmosférico.

Incremento de interferencia

Sistemas que emplean polarización ortogonal para re-usar el espectro están sujetas a auto-interferencia a través de *crossstalk* o diafonía* entre canales de polarización opuesta. El grado de auto-interferencia se establece por la eficiencia del satélite y la estación terrena y por los efectos de depolarización de gotas de lluvia y cristales de hielo

* Diafonía: Perturbación electromagnética producida en un canal de comunicación por el acoplamiento de este con otro u otros vecinos.

en la trayectoria. La depolarización por lluvia se incrementa con la razón de lluvia y la frecuencia.

La depolarización por nubes de hielo de grandes altitudes está asociada normalmente con tormentas pero puede ocurrir en ausencia de atenuación por lluvia. El efecto de depolarización sobre el canal de comunicación depende del tipo de modulación usado. El efecto de interferencia por depolarización es fundamentalmente diferente de la reducción de amplitud o los efectos de incremento de ruido de propagación, en que el incremento de la potencia de enlace no reduce la interferencia, esto es porque se incrementa la potencia de la señal deseada y la señal interferente simultáneamente. La polarización cruzada, sin embargo puede ser reducida empleando una red especial de rotación adaptiva sobre la alimentación de la antena.

Otro tipo de interferencia que puede empeorar el enlace es la interferencia intersistemas. La lluvia puede causar dispersión de energía electromagnética fuera de la línea de vista, resultando un incremento en la disminución de la potencia del enlace de subida por el haz recibido de un satélite adyacente.

Modulación de la señal

Estaciones terrenas, operando en bajos ángulos de elevación, están sujetas al centelleo causado por turbulencia troposférica. Esta consiste de rápidas fluctuaciones aleatorias en la amplitud y fase de la señal. Los efectos del centelleo de la señal dependen del tipo de modulación usado y del rendimiento del receptor. El espectro de potencia de la fluctuación cae rápidamente con el incremento de la frecuencia.

Atenuación por lluvia en transmisiones satelitales

En general, la atenuación por lluvia se produce por el comportamiento del agua como dieléctrico imperfecto y por la dispersión de la energía en direcciones diferentes de propagación.

La atenuación de señal debido a la lluvia es una característica de las transmisiones de microondas y satelitales, siendo estas últimas las que nos interesan en el presente trabajo.

Cuando se opera en frecuencias desde la banda Ku en adelante, la intensidad de la señal satelital puede ser temporalmente reducida bajo condiciones de lluvia severa. El nivel de atenuación es producto de varias variables, y para minimizar su efecto, se incluye un margen de lluvia, cuando se diseñan sistemas de comunicación satelital, esto es, las estaciones terrenas ubicadas en áreas de lluvia pesada se diseñan con más potencia de transmisión.

El margen de lluvia es la cantidad de potencia extra agregada a la intensidad de señal, de tal forma que el servicio no sea afectado por la atenuación por lluvia durante precipitaciones normales. En la mayoría de los casos la reducción en la intensidad de señal debido a la lluvia no sobrepasa el umbral del margen de lluvia y no tiene ningún efecto perceptible sobre la transmisión, por lo cual debe de considerarse el margen de lluvia adecuado para el posible ahorro en la potencia del sistema.

Como las señales de satélite viajan a través de la atmósfera, una célula de lluvia donde quiera en la trayectoria de señal ocasionará alguna reducción en la intensidad de una transmisión; como la lluvia se forma únicamente en la tropósfera que se extiende 15 km sobre la tierra, una señal que viaja a través de una célula de lluvia experimentará atenuación durante una porción pequeña de su trayectoria de transmisión. Las transmisiones terrestres de microondas son más susceptibles a los efectos de la atenuación por lluvia porque sus trayectorias de señal están totalmente en la tropósfera, y la señal puede pasar a través de una célula entera de lluvia [23].

Cuánto tiempo una transmisión será afectada por la atenuación por lluvia y cuán profunda será la atenuación, puede ser determinado por la cantidad de precipitación. Generalmente, la intensidad de la señal puede ser afectada de dos a tres minutos durante una precipitación promedio, y hasta 15 minutos para períodos de lluvia sumamente pesada. Sin embargo, los períodos de atenuación de hasta 15 minutos son

muy raros, y aunque la intensidad de la señal pudiera ser afectada, no habrá ningún efecto perceptible sobre la transmisión mientras la atenuación no exceda el umbral del margen de lluvia destinado.

Los patrones climáticos y el ángulo de elevación deben también ser considerados. Las diversas regiones cubiertas por la huella del satélite experimentan diferentes patrones climáticos, y las antenas en cada región se colocan en diferentes ángulos de elevación.

Por ejemplo, hay una diferencia considerable entre el patrón climático de Hermosillo, Son. y México, D.F. Aunque llueve más frecuentemente en México D.F., en Hermosillo se tienen precipitaciones en algunos casos más pesadas que en el D.F., aunque estos son muy esporádicos. Consiguientemente, las transmisiones desde Hermosillo experimentarán períodos de atenuación en algunos casos más profunda pero menos frecuentes que en México D.F.

El ángulo de elevación en el cual la antena es apuntada hacia el satélite es también un factor. Este ángulo es dependiente de la latitud y la longitud de la estación terrena. Entre más baja sea la latitud de la estación terrena, el ángulo de elevación será más alto, y menor la atmósfera a través de la cual la señal debe viajar. Entre más alta sea la latitud, el ángulo de elevación baja, y, por lo tanto, será más la atmósfera a través de la cual la señal debe viajar, y aumentará la probabilidad de que la señal viaje a través de la lluvia. Así pues la longitud de la parte de la trayectoria de propagación que pasa a través de la tropósfera varía inversamente al ángulo de elevación. Por lo cual, pérdidas de propagación, ruido y depolarización también se incrementan con el decremento del ángulo de elevación.

La atenuación por lluvia es ligeramente sensible al tipo de polarización siendo la polarización horizontal la más afectada. La depolarización es también sensible a la polarización, y la polarización circular es la que resulta más afectada.

En cuanto a la altitud de la estación terrena, por la disminución de la tropósfera en sitios de mayores altitudes los deterioros son menores.

La temperatura de ruido de la estación terrena determina la contribución relativa de la temperatura de ruido atmosférico a la temperatura de ruido del sistema, y de este modo determina también el efecto del ruido atmosférico sobre la razón señal a ruido del enlace de bajada.

La cantidad y naturaleza de precipitación pluvial en la vecindad de la estación terrena son los factores primarios en la determinación de la frecuencia y extensión de la mayoría de los deterioros de propagación. Los deterioros causados por lluvia dependen de la razón de precipitación pluvial, pero también el tipo de lluvia es tan importante como la cantidad acumulativa de precipitación pluvial. El tipo y extensión abarcada por una nube y las características de humedad local son otros factores meteorológicos que determinan la magnitud de los deterioros de propagación [24].

El margen de lluvia es un componente del margen de enlace, y es un cálculo de atenuación esperada de lluvia sobre un porcentaje de un año. Se calcula con base en los datos de precipitación, ángulo de elevación, y patrones climáticos. Este margen da a cada cliente más potencia que la que se necesita en cualquier tiempo determinado, para que cuando la atenuación de lluvia ocurra, rara vez afecte su servicio [13].

Con base en el margen de enlace y el margen de atenuación por lluvia incorporado, cada cliente debe típicamente contar con especificaciones de desempeño de segmento espacial a 99.9 por ciento del tiempo sobre un año de servicio para 14 -12 GHz,. Esto reduce la posibilidad de que la atenuación por lluvia afecte el servicio, y restringe los efectos a períodos de lluvia muy pesados e infrecuentes.

Para describir la naturaleza de la propagación de las ondas de radio y la precipitación y determinar la atenuación por lluvia de una onda radioeléctrica, se asume lo siguiente:

1. La intensidad de la onda decae exponencialmente al propagarse a través de la lluvia.

2. Las gotas de lluvia son gotas de agua esféricas, que absorben y dispersan energía de las ondas incidentes.
3. La contribución de cada gota de lluvia es aditiva e independiente de otras gotas.

La atenuación por lluvia depende del tamaño de las gotas, la distribución del tamaño de las gotas, la tasa de lluvia, y la sección transversal de atenuación. Los primeros tres parámetros son características de la estructura de la lluvia, sin embargo, la sección transversal de atenuación depende de la frecuencia y de la temperatura. Todos estos parámetros varían espacial y temporalmente de modo aleatorio, por lo tanto para los análisis de atenuación por lluvia deben hacerse análisis estadísticos [24].

CAPITULO 3

CARACTERÍSTICAS Y SISTEMAS DE LLUVIA

Los efectos de atenuación de la troposfera y la naturaleza estadística de esos efectos son determinados por las características macroscópicas y microscópicas de sistemas de lluvia [20].

Las características macroscópicas incluyen factores tales como el tamaño, distribución y movimiento de las células de lluvia, altura de la capa brillante (altura isotérmica[▼] de 0° C) y cristales de hielo. Las características microscópicas incluyen la distribución de tamaño densidad y forma de gotas de lluvia y cristales de hielo. Los efectos combinados ambas características determinan la distribución acumulativa de atenuación contra el tiempo, la duración de desvanecimiento y los períodos de atenuación específica contra la frecuencia [17].

A continuación, se presenta información sobre los tipos de lluvia, datos de precipitación y la estimación de la razón de lluvia, pasando después a la macroestructura y microestructura de la lluvia [25].

3.1. TIPOS DE LLUVIA

3.1.1 LLUVIA ESTRATIFORME

En las regiones de latitud media, la precipitación estratiforme es el tipo de lluvia el cual tiene extensiones horizontales estratificadas de cientos de km, duraciones

[▼] Isotérmica o isoterma: Curva para la representación cartográfica de los puntos de la Tierra con la misma temperatura

mayores a una hora y razones de lluvia menores que 25 mm/h. Este tipo de lluvia usualmente ocurre durante los meses de primavera y otoño, y resulta de las temperaturas frías en alturas verticales de 4 - 6 km. Para aplicaciones de comunicaciones las lluvias estratiformes representan una razón de lluvia la cual que ocurre en un períodos suficientemente grandes que el margen de enlace debe definirse para que exceda la atenuación asociada con una razón de lluvia de 25 mm/h.

3.1.2 LLUVIA CONVECTIVA

La lluvia convectiva se origina del movimiento atmosférico vertical. El flujo convectivo ocurre en una célula que tiene una extensión horizontal de varios kilómetros. La célula usualmente se extiende a alturas mayores que la altura promedio isotérmica de 0°C, en lugares con fuertes corrientes ascendentes y descendentes. Por el movimiento del frente y el movimiento deslizante, las duración de las razón de lluvia alta son usualmente de pocos minutos.

3.1.3 PRECIPITACIÓN MONZÓNICA

Esta precipitación se debe a secuencia de bandas de precipitación convectiva intensa seguidas de intervalos de precipitación estratiforme. Las bandas tienen por lo general 50 km de ancho, centenares de km de largo y producen intensas lluvias que duran varias horas.

3.1.4 TORMENTA CICLÓNICA TROPICAL

Las tormentas ciclónicas tropicales (huracanes) regularmente pasan sobre el sureste del bordo del mar durante el período de agosto a octubre. Estas tormentas circulares son típicamente de 50 a 200 km de diámetro moviéndose a 20 km por hora, se extiende a alturas de hasta 8 km y tiene razones de lluvia más altas que 22.5 mm/h.

Las tormentas se caracterizan por varias bandas en espiral que terminan en regiones de precipitación intensa en torno a la región central u ojo del ciclón. Las bandas contienen también regiones de precipitación convectiva intensa.

3.2 DATOS DE PRECIPITACIÓN

Los datos colectados por los servicios climatológicos de los E.U. y Canadá son una excelente base de datos para la estimación de la razón de lluvia. Sin embargo, las mediciones en el sitio son aún la técnica más exacta pero muy laboriosa para adquirir estadísticas de razón de lluvia.

En los E.U. el Centro Nacional de Datos Climáticos prepara y mantiene grabaciones extensas de precipitación obtenidas de las Oficinas de Servicios Climáticos sobre 12,000 agencias de observación. Estos datos de lluvia están disponibles en diferentes clases de documentos, los cuales cuentan con datos de precipitaciones horarias, diarias, promedios mensuales y anuales. Si se desea más información respecto a razones de lluvia alta asociadas con tormentas, ésta puede ser obtenida para la mayoría de los sitios en donde se ubican las Oficinas de Servicios Climáticos. Estos sitios generalmente cuentan con medidores *tipping bucket* y "cartas de medición normalizadas". Los medidores *tipping bucket* generalmente acumulan el número de eventos de precipitación de 0.01 pulgadas en un día. Además, algunos medidores emplean una carta de lectura (cartas de registro triple de operaciones grabadas) similares a las que se muestran en la figura 3.1, y por aproximación se puede aproximar el tiempo entre extremos de razón de lluvia.

El medidor de "cartas de medición normalizadas" es también capaz de proveer información de razón de lluvia y es el instrumento principal utilizado para proveer datos de precipitación de 5 minutos a una hora. La medición se logra leyendo directamente de la carta de 24 horas del medidor. Un ejemplo se muestra en la figura 3.2, en la cual midiendo la pendiente de la línea, se pueden obtener razones de lluvia de hasta 5 minutos de resolución y aún razones de lluvia de 1 minuto pueden ser

inferidas de algunas cartas. Lo anterior hace que estas cartas sean la mejor fuente de información para razones de resolución pequeña.

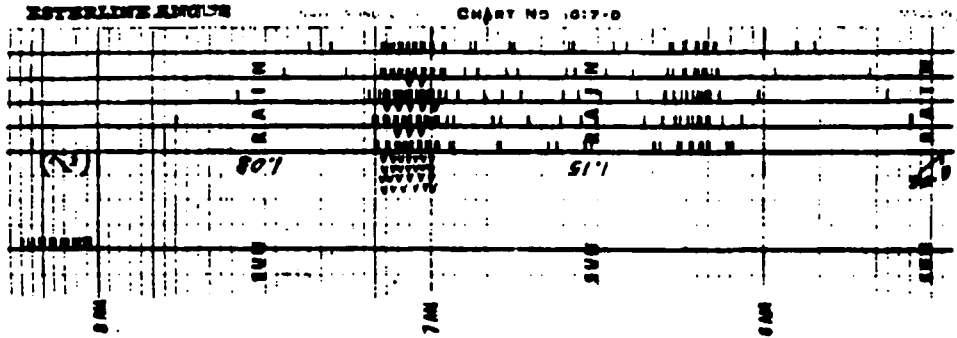


Figura 3.1 Ejemplo con el medidor "Tipping bucket"

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

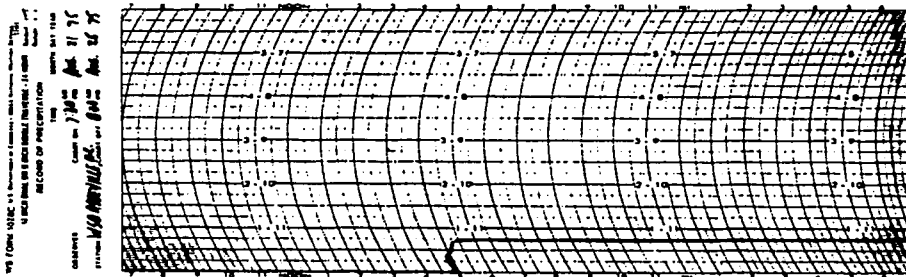


Figura 3.2 Ejemplo de las "Cartas de medición normalizadas".

Bodtman y Ruthroff [26] han demostrado una técnica de estimación de distribuciones de razón de lluvia directamente de estas cartas de medición de lluvia con una resolución de 1 minuto. Como el cálculo derivado de las cartas es notoriamente inexacto, se necesita de un procesamiento considerable para obtener resultados exactos, especialmente en razones de lluvia altas.

Muchos países preparan datos meteorológicos similares a los E.U. En México, el Servicio Meteorológico Nacional almacena cartas de datos con precipitaciones acumuladas promedios por mes y año para un gran número de locaciones, además de datos de precipitaciones acumuladas por hora para un cierto número de observatorios ubicados en el territorio nacional. También para algunos lugares se cuenta con cartas como la mostrada en la figura 3.2; para propósitos de este trabajo se consideraron los datos de precipitaciones acumuladas por hora para cada una de las localidades seleccionadas, además de las precipitaciones máximas por hora durante cierto número de años para las localidades en cuestión.

3.3 ESTIMACIÓN DE LA RAZÓN DE LLUVIA

La medición de la razón de lluvia es un proceso inexacto por la naturaleza discreta de la precipitación. Obviamente, la razón de lluvia se calcula midiendo la acumulación de lluvia para un período de tiempo conocido en un punto. El período de tiempo más corto reportado por los servicios climáticos de E.U. y Canadá es 5 minutos y para México el período de tiempo reportado en el Servicio Meteorológico Nacional es de 1 hora. Asumiendo que la razón de lluvia es uniforme para el período de tiempo reportado, la razón de lluvia calculada en el punto y la razón de lluvia puntual instantánea son iguales. Sin embargo surge la pregunta de cómo varía la razón de lluvia conforme el tiempo de integración varía. La variación entre los tiempos de integración de 2 y 5 minutos se espera sea significativa para razones de lluvia altas. La figura 3.3 muestra que para razones de lluvia por debajo de 50 mm/h el error debido al tiempo de integración es pequeño.

Este efecto es debido a que eventos de razón de lluvia baja tienden a ser espacial y temporalmente uniformes, mientras razones de lluvia entre 50 y 120 mm/h son dominados por lluvias convectivas no uniformes espacial y temporalmente.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

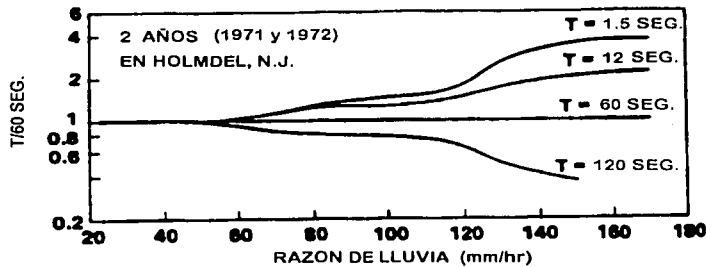


Figura 3.3 Distribución de razón de lluvia vs tiempo de integración en Holmdel NJ

Únicamente las células más severas crean razones de lluvia superiores a 120 mm/h y son altamente variables. Por lo tanto, un pico significativo de razón de lluvia dos o tres veces tan alto como el promedio de 1 minuto, puede ocurrir para un segundo durante el período de un minuto.

El impacto de variar los tiempos de integración puede ser significativo para mediciones de estadísticas de razón de lluvia acumulativa (relacionadas con estadísticas de atenuación acumulativas y mediciones de duración de razón de lluvia relacionadas a la duración de desvanecimiento de atenuación). Lin [27] determinó experimentalmente el efecto del tiempo de integración sobre estadísticas acumulativas.

3.4 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA LLUVIA

- Macroestructura de la lluvia

Estructura horizontal de la lluvia:

Aplicación de la dispersión producida por la lluvia

Aplicación de la atenuación producida por lluvia

Estructura vertical de las precipitaciones:

Variación vertical de la reflectividad

Variación vertical de la atenuación específica

Altura de la isoterma de 0°C y altura de la lluvia

- Microestructura de la lluvia
 - Distribución del tamaño de las gotas
 - Forma y orientación
 - Velocidad terminal
 - Temperatura de las gotas
- Características estadísticas de la intensidad de lluvia en un punto
 - Distribución acumulativa de la intensidad de lluvia.
 - Conversión de la distribución de la intensidad de lluvia en estadísticas equivalentes a 1 minuto
 - Modelos para la distribución de la intensidad de lluvia
 - Estadísticas de la duración de la lluvia

3.4.1 MACROESTRUCTURA DE LA LLUVIA

3.4.1.1 Estructura horizontal de la lluvia

La lluvia no es homogénea en el plano horizontal. Mediciones realizadas con sistemas de radar indican la existencia de zonas de precipitación, a menudo con regiones interiores más pequeñas en que los índices de precipitaciones son más elevados. Estas regiones localizadas de mayor índice de pluviosidad, denominadas nominalmente células de lluvia, pueden ocasionalmente hallarse aisladas.

Desafortunadamente no existe actualmente una morfología adecuada de la estructura de las precipitaciones. Se sabe que la estructura horizontal debe depender del tipo de lluvia, de la topografía y de la profundidad de la capa potencialmente inestable que producen las células convectivas y que dicha información debe obtenerse en diferentes latitudes de regiones marítimas y continentales. Por otra parte, para aplicaciones de la propagación radioeléctrica, las descripciones

estadísticas necesarias para las células y para las variaciones espaciales de la intensidad de la lluvia en las grandes zonas de precipitación más débil dependen de cada aplicación particular.

Distribuciones de términos grandes

Los tipos de lluvia ciclónica y estratiforme cubren grandes regiones geográficas, por lo que la distribución espacial de la caída de lluvia total de una de esas tormentas se supone es uniforme. De igual forma, la razón de lluvia promediada sobre varias horas se supone similar para sitios alejados hasta 10 km.

Sin embargo, las tormentas convectivas están localizadas y tienden a dar origen a distribuciones de caída de lluvia y razón de lluvia espacialmente no uniformes para una tormenta dada.

Distribuciones horizontales de términos cortos

Se han empleado radares operando en frecuencias que no se atenúan para estudiar los componentes horizontal y vertical de los sistemas de lluvia convectiva. Una distribución horizontal típica -observada en 1.4 grados de elevación- se muestra en la figura 3.4, para un aguacero en Nueva Inglaterra [28].

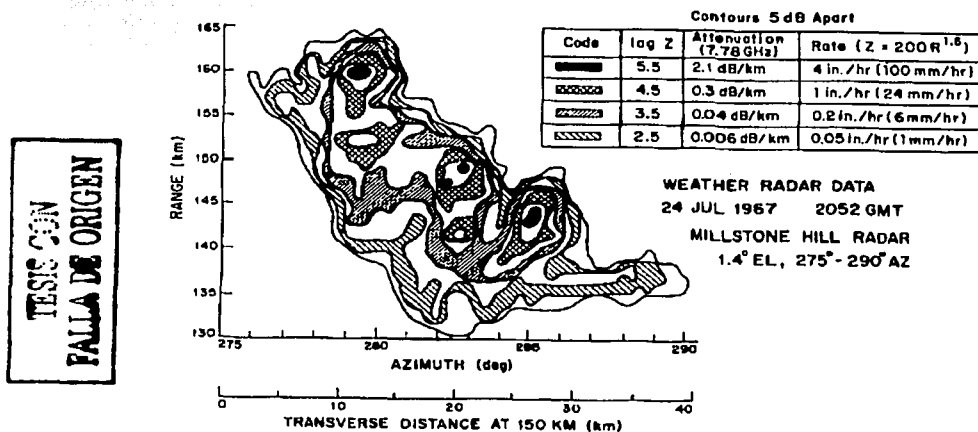


Figura 3.4 Mapa de radar climático para un aguacero en Nueva Inglaterra

Aquí las variaciones de razón de lluvia de 100:1 son observadas sobre rangos de 10 km para un aguacero conteniendo cuatro células intensas. Similares mediciones han sido hechas por Goldhirsh, en Wallops Island VA, donde ha observado también que las células de lluvia son alargadas sobre la dirección noreste-suroeste (la dirección de movimiento). Esta dirección también se correlaciona muy bien con la dirección de viento media o promedio. El impacto de este resultado es que el desvanecimiento era máximo y la ganancia de diversidad espacial mínima en la dirección noreste-suroeste.

Aplicación a la dispersión producida por la lluvia

Los efectos de dispersión se producen principalmente cuando en el volumen común de los haces de la antena se encuentra una célula de lluvia intensa. Por tanto, las mediciones de alta resolución son importantes para determinar la anchura de la célula. Para su aplicación en los métodos estadísticos de predicción de la dispersión debida a la lluvia como factor de interferencia, se ha definido la extensión horizontal de la célula de lluvia como el área que contiene un valor máximo de la reflectividad, y está limitada por los puntos en que la reflectividad es igual a la mitad de los valores de cresta (-3 dB).

El diámetro de la célula [D] parece tener una probabilidad de distribución [P(D)] exponencial de la forma:

$$P(D) = \exp(-D/D_0) \quad 3.1$$

donde D_0 es el diámetro medio de la célula, que es función del índice pluviométrico de cresta R_{cresta} . Los resultados de mediciones mediante radar en Europa y en los Estados Unidos indican que el diámetro medio D_0 disminuye ligeramente al aumentar R_{cresta} (cuando $R_{\text{cresta}} > 10$ mm/h). Esta relación parece seguir una ley exponencial:

$$D_0 = a R_{\text{cresta}}^{-b} \quad 3.2$$

para $R_{\text{cresta}} > 10$ mm/h. Se han señalado valores del coeficiente a , que van de 2 a 4, y del coeficiente b , que van de 0.08 a 0.25. Suponiendo que el perfil espacial de la célula de lluvia sigue una ley exponencial, la distribución de la intensidad máxima de la lluvia puede obtenerse a partir de la distribución puntual del índice pluviométrico.

Los valores del diámetro medio de la célula pueden utilizarse para definir el volumen común que interviene en la interferencia debida a la dispersión provocada por las precipitaciones. No obstante, al evaluar el acoplamiento por la dispersión debida a la lluvia, debe tenerse debidamente en cuenta la atenuación, tanto en el exterior como en el interior del volumen común.

Aplicación a la atenuación producida por las lluvias

Para predecir la atenuación, la situación suele ser más compleja. Se sabe que las células se agrupan frecuentemente dentro de regiones de lluvia a veces denominadas pequeñas zonas de dimensiones medias. Por consiguiente, los enlaces terrenales de más de 10 km pueden atravesar más de una célula dentro de una región de lluvia. Además, como debe tenerse en cuenta el efecto atenuador de la lluvia de intensidad más baja que circunda la célula, cualquier modelo que se utilice para calcular la atenuación debe tomar en consideración estas regiones más amplias. La extensión lineal de estas regiones de lluvia aumenta al disminuir la intensidad de la lluvia y puede llegar hasta varias decenas de kilómetros.

La mejora por diversidad de ubicación o de trayecto resulta de la naturaleza no homogénea de las precipitaciones. Los valores máximos de atenuación se presentan generalmente cuando hay una célula intensa a lo largo del trayecto de propagación. La probabilidad de que haya una segunda célula intensa simultáneamente a lo largo de un segundo trayecto separado del primero por distancias del orden de 10 km o más, es pequeña, produciéndose la mejora por diversidad cuando se utiliza diversidad de trayecto o de ubicación con conmutación. Si la atenuación producida por las zonas de lluvia más amplias, fuera de las células, produce la degradación del

sistema, en tal caso se requieren distancias de separación mucho mayores para obtener una mejora importante por diversidad.

3.4.1.2 Estructura vertical de las precipitaciones

Se requiere información sobre la estructura vertical y extensión de las precipitaciones para predecir la atenuación en un trayecto oblicuo y para calcular la interferencia debida a la precipitación por la lluvia.

Las observaciones realizadas con radar proporcionan las únicas mediciones directas de la estructura vertical de las precipitaciones. Sobre la base de estas observaciones, se han definido dos tipos principales de precipitaciones:

- Precipitaciones estratiformes, que se caracterizan por una delgada capa horizontal la cual tiene mayor reflectividad y se denomina banda brillante.
- Precipitaciones convectivas, que se caracterizan por regiones en forma de columnas casi verticales de mayor reflectividad.

Pueden darse ambos tipos de precipitaciones en distintas regiones de la misma tormenta, y se ha observado que son las formas básicas que se producen en los sistemas principales de precipitación en todo el mundo.

Distribuciones verticales de términos cortos

Los radares calibrados son ideales también para la medición de los perfiles verticales de eventos de lluvia. Los perfiles de reflectividad media para un grupo de células de lluvia medidos desde la tierra como una función de la razón de lluvia, se presentan en la figura 3.5, [29].

Los números en paréntesis son el número de células medidas y la abcisa es el factor de reflectividad. Estos resultados experimentales demuestran claramente que la razón de lluvia es uniforme hasta cuatro km de altitud y después se decrementa

dramáticamente para altitudes en el rango de 6 a 8 km, el decremento se asocia también con la altura isotérmica de 0° C.

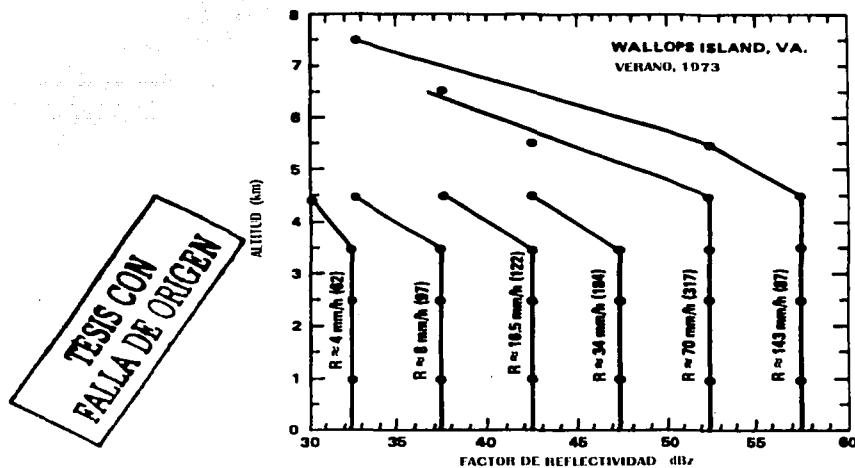


Figura 3.5 Factor de reflectividad medio obtenido en Wallops Island, VA

Sobre la isoterma existen hidrometeoros en forma de cristales de hielo y nieve. Estos hidrometeoros no contribuyen significativamente a la atenuación pero originan efectos de depolarización.

Variación vertical de la reflectividad

En general, los perfiles del factor de reflectividad del radar en función de la altura, muestran pocos cambios por debajo de una determinada altura de transición. Esto es cierto para los perfiles equiprobables y los perfiles medianos basados en un análisis de las distintas células de lluvia. La región que se halla por debajo de la altura de transición está constituida preponderadamente por lluvia y contribuye tanto a la atenuación como a la dispersión.

Para la lluvia estratiforme, existe una capa estrecha de reflectividad aumentada en las proximidades de la altura de transición; la dimensión de esta capa es de unos 300 metros en promedio, aunque a veces puede alcanzar valores de hasta 1 km. Esta

capa, conocida también como la banda brillante, se compone principalmente de nieve y de nieve en fusión.

La región por encima de la altura de transición es una mezcla de hielo y nieve que no produce atenuación importante en frecuencias inferiores a unos 60 GHz. Los cristales de hielo en los cirros y cirrostratos pueden producir valores de reflectividad muy grandes y tienen lugar para porcentajes del año del 1 al 10%, según la región climatológica.

Los perfiles por encima de la transición muestran un descenso con la altura que parece depender del clima. La pendiente justo por encima de la altura de transición varía entre alrededor de 3 y 9 dB/km. Es de esperar que la pendiente aumente para alturas mayores.

Es de esperar que la altura de transición se halle estrechamente relacionada con la altura isotérmica 0°C , que depende de la latitud, del clima, y de la estación. Para la precipitación estratiforme se ha observado que la variación estacional de esta altura guarda una correlación con la temperatura del suelo [30].

Variación vertical de la atenuación específica

La información sobre la variación vertical de la reflectividad puede utilizarse para determinar la variación vertical de la atenuación específica, una vez que esté adecuadamente determinada la altura de la fase de agregación de las partículas de precipitación.

Para la precipitación estratiforme, ello conduce al modelo de tres regiones distintas, cada una de las cuales contiene partículas de precipitación en fase de agregación homogénea. La primera región, que va desde el suelo hasta la altura inmediatamente inferior a la de transición, contiene únicamente partículas líquidas y en ella la atenuación específica es independiente de la altura. La segunda región es una capa estrecha, de unos 300 metros, alrededor de la altura de transición y contiene principalmente partículas de nieve en fusión, y su contribución a la atenuación puede

no ser despreciable debido a la gran atenuación específica de la nieve húmeda. La tercera región se encuentra por encima de la altura de transición; contiene únicamente hielo y nieve, y contribuye poco a la atenuación a frecuencias inferiores a 60 GHz.

El valor de la altura de transición de la precipitación estratiforme se acerca al valor de la altura isotérmica de 0°C de la atmósfera, pues en este tipo de precipitación los desplazamientos verticales del aire son pequeños.

Para la precipitación fuertemente convectiva, la situación es mucho más compleja. Se producen intensos movimientos verticales del aire que dan lugar a la mezcla en gran escala de distintos tipos de partículas; por ejemplo, se sabe que en algunas células convectivas pueden encontrarse gotas de lluvia super frías muy por encima de la altura isotérmica de 0°C . No obstante, en una primera aproximación, puede tomarse la altura isotérmica de 0°C como la altura que separa la región que contiene únicamente partículas líquidas (en la que el valor de la atenuación específica es independiente de la altura), y la región por encima de ésta, que contiene únicamente partículas de hielo y nieve cuya contribución a la atenuación es despreciable.

Altura isotérmica de 0°C y la altura de la lluvia

Tal como se vio en el punto anterior, a menudo se supone que la altura de la transición entre la parte inferior de la atmósfera que contiene únicamente partículas líquidas y la parte superior que contiene únicamente partículas en congelación, es idéntica a la altura de la isoterma de 0°C . Generalmente, la altura isotérmica puede variar con el tiempo. Como primera indicación del valor de esta altura pueden utilizarse valores promedio, de los cuales se definen los siguientes:

h_{FS} : valor medio de la altura isotérmica de 0°C en los meses de verano.

h_{FR} : valor medio de la altura isotérmica de 0°C en condiciones de lluvia.

La selección adecuada de los eventos se realiza en función de los umbrales apropiados de intensidad de las precipitaciones, lo que puede llevar en teoría a un

valor dependiente de la intensidad de las precipitaciones o de su probabilidad. No obstante, para valores de la intensidad de las precipitaciones correspondientes a porcentajes de tiempo de 0.1 a 0.001% esta dependencia es muy débil.

Otro parámetro de la altura referido a la lluvia es:

h_R : altura aparente de la lluvia para la previsión de la atenuación debida a la lluvia.

Este parámetro da el análisis de los datos de atenuación media equiprobable y de intensidad puntual de las precipitaciones en el marco de un modelo elegido. En el caso ideal, si el modelo simple de estructura vertical y horizontal de las precipitaciones utilizado para la predicción de atenuación es válido, $h_R \approx h_{FR}$.

Una estimación provisional de la dependencia de h_{FR} respecto de la latitud es:

$$h_{FR}(\text{km}) = \begin{cases} 4.0 & \text{para } 0 < \varphi < 36^\circ \\ 4.0 - 0.075(\varphi - 36) & \text{para } \varphi \geq 36^\circ \end{cases} \quad 3.3$$

donde φ es la latitud (grados).

El valor de h_{FR} para la región tropical se estima suponiendo una temperatura media de la superficie durante la lluvia de 25° C y un gradiente vertical adiabático saturado de unos 6°C/km. Para las latitudes más elevadas, los valores de h_{FR} se estimaron a partir de datos obtenidos en emplazamientos del hemisferio Norte en donde las lluvias más importantes se producen en verano. También puede preverse una desviación considerable del valor de h_{FR} si la estación de lluvias importante difiere mucho de la del verano.

Uno de los modelos geofísicos de atenuación causada por la lluvia [31]; indica que la isoterma de 0° C corresponde a la altura de la lluvia excedida durante el 1% del tiempo y que la isoterma de -5° C corresponde a la altura de la lluvia excedida durante el 0.001% del tiempo.

3.4.2 MICROESTRUCTURA DE LA LLUVIA

Las distribuciones de tamaño, forma y orientación de las gotas de lluvia pueden variar dentro de una tormenta. Algunas observaciones muestran que como medida, la distribución del tamaño de gotas es relativamente estable, variando fundamentalmente con la intensidad de la precipitación.

3.4.2.1 Distribución del tamaño de las gotas

Muchos investigadores han estudiado la distribución del tamaño de las gotas como una función de la razón de lluvia y del tipo de la actividad de tormenta. Las tres distribuciones usadas más comúnmente son:

- Laws and Parsons (LP)
- Marsall-Palmer (MP)
- Joss-thunderdtom (J-T) and drizzle (J-D)

La distribución de Laws y Parsons [32], se ha mostrado útil en la estimación de la atenuación y de las propiedades de dispersión de la lluvia hasta frecuencias de 40 GHz aproximadamente. Las concentraciones relativas de pequeñas gotas con diámetros inferiores a 0.5 mm no se ajustan al modelo de distribución de Laws y Parsons y algunas veces se hace uso de la distribución de Marshal-Palmer [33], para remediar el efecto. La concentración relativa de pequeñas gotas puede variar fuertemente y la utilización de un modelo único de distribución puede no ser adecuado para todos los lugares.

En general la distribución Laws & Parsons se usa para propósitos de diseño porque ha sido ampliamente probada comparándola con mediciones de razones de lluvia alta y baja. En un régimen de razón de lluvia mayor a 25 mm/h y a una frecuencia arriba de 10 GHz, los valores LP dan atenuaciones de lluvia específica más altas que los valores J-T de Joss [34].

La distribución de Joss difiere de las demás en que está especificada generalmente para dos tipos de lluvia: Lluvia de tormenta o convectiva y llovizna.

Para las intensidades de lluvia elevadas de más importancia en el diseño de los sistemas de comunicaciones, y a frecuencias superiores de 10 GHz, la distribución de Laws y Parsons da atenuaciones específicas superiores a los de la distribución de Joss para las lluvias de tormenta. Por otra parte, la distribución de Joss para la llovizna da atenuaciones específicas mayores para intensidades de lluvia baja y para estas frecuencias elevadas.

3.4.2.2 Forma y orientación de los hidrometeoros

Las gotas que caen asumen una forma realmente esferoidal cuando están sujetas solamente a los efectos de la gravedad y de la tensión de la superficie del agua. La fuerza de gravedad proporciona la fuerza principal de orientación para las gotas de lluvia. Las gotas pueden vibrar y oscilar mientras caen pero la forma neta es esferoidal aplastada con el eje de simetría casi vertical. Fuerzas horizontales debidas a gradientes verticales del viento pueden hacer que la orientación media se incline unos grados. Pruppacher y Pitter [35], establecieron un modelo de la forma de las gotas en función de su tamaño, las observaciones en la atmósfera tienden a demostrar relaciones axiales más pequeñas que las calculadas por el modelo para las gotas del mismo volumen.

3.4.2.3 Velocidad terminal

Gunn y Kinzer [36] registraron las velocidades terminales de las gotas de lluvia en función del tamaño de las gotas. Las mediciones se efectuaron en condiciones de calma en el laboratorio, pero se han supuesto para aplicarse en la atmósfera. Las velocidades de las gotas dependen de la densidad del aire y, por lo tanto, son una función de la altura. Las observaciones con radares muestran que, por término medio, el valor de reflectividad varía poco con la altura por debajo de la altura de lluvia. Por consiguiente, el número y tamaño de las gotas y el contenido de agua líquida en un volumen de gotas varía poco con la altura. Como la velocidad terminal depende de la altura, el flujo de agua líquida o índice de pluviosidad depende consecuentemente de la altura. Como la atenuación específica depende principalmente del contenido de

agua líquida, la atenuación específica varía poco con la altura por debajo de la altura de lluvia.

3.4.2.4 Temperatura de las gotas de lluvia

Las gotas de lluvia que caen tienen una temperatura que se aproxima a la temperatura de la ampolla del termómetro húmedo para la temperatura, presión y humedad del aire circundante. Pueden existir pequeñas gotas de lluvia a temperaturas por debajo de los 0°C , especialmente en regiones de corrientes ascendentes de tormentas convectivas y en nieblas muy frías. Las mezclas de hielo y agua pueden existir también en regiones de corrientes descendentes por debajo de la altura isotérmica de 0°C . Por término medio, el número significativo de gotas de gran tamaño de agua líquida que contribuyen a la atenuación debida a la lluvia se observan entre la altura isotérmica de 0°C y la superficie.

3.4.3 CARACTERÍSTICAS ESTADÍSTICAS DE LA INTENSIDAD DE LLUVIA EN UN PUNTO

3.4.3.1 Distribución acumulativa de la intensidad de lluvia

Las mediciones efectuadas con pluviómetros de respuesta rápida indican que las lluvias de gran intensidad tienden a concentrarse en periodos de tiempo breves, normalmente unos cuantos minutos. Por lo tanto, las distribuciones acumulativas experimentales de la intensidad de lluvia dependen del tiempo de integración empleado. Los valores acumulativos mensuales, diarios y en algunos casos, horarios de las precipitaciones en forma de lluvia, que se consiguen fácilmente en las publicaciones de los diversos servicios meteorológicos, no pueden utilizarse directamente para obtener distribuciones acumulativas de intensidad de lluvia durante pequeños porcentajes de tiempo.

Siempre que existan datos apropiados sobre intensidad de lluvia en una localidad determinada, convendrá utilizarlos para determinar la distribución acumulativa correspondiente. En ausencia de esa información, pueden emplearse los

datos extrapolados por algunos autores como los propuestos por el UIT-R mostrados en la tabla 3.1 y figura 3.6.

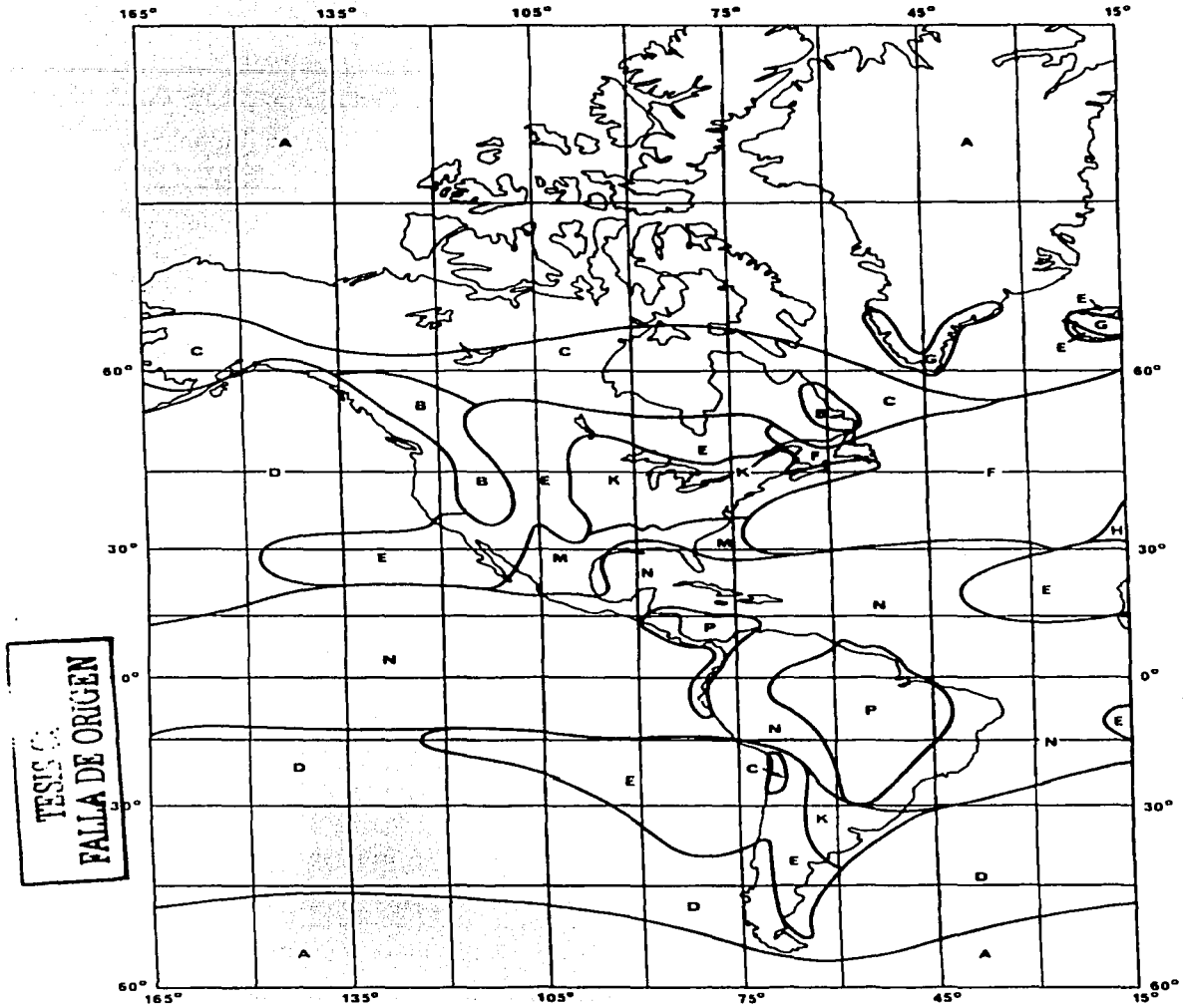


Figura 3.6 Mapa de zonas de lluvia (UIT-R)

| Porcentaje de tiempo (%) | A | B | C | D | E | F | G | H | J | K | L | M | N | P |
|--------------------------|------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1.0 | <0.5 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 2 | 8 | 2 | 2 | 4 | 5 | 12 |
| 0.3 | 1 | 2 | 3 | 5 | 3 | 4 | 7 | 4 | 13 | 6 | 7 | 11 | 15 | 34 |
| 0.1 | 2 | 3 | 5 | 8 | 6 | 8 | 12 | 10 | 20 | 12 | 15 | 22 | 35 | 65 |
| 0.03 | 5 | 6 | 9 | 13 | 12 | 15 | 20 | 18 | 28 | 23 | 33 | 40 | 65 | 105 |
| 0.01 | 8 | 12 | 15 | 19 | 22 | 28 | 30 | 32 | 35 | 42 | 60 | 63 | 95 | 145 |
| 0.003 | 14 | 21 | 26 | 29 | 41 | 54 | 45 | 55 | 45 | 70 | 105 | 95 | 140 | 200 |
| 0.001 | 22 | 32 | 42 | 42 | 70 | 78 | 65 | 83 | 55 | 100 | 150 | 120 | 180 | 250 |

Tabla 3.1 Zonas de lluvia y precipitación pluvial según UIT-R

Los datos presentados en la figura 3.6 y en la tabla 3.1 identifican diversas zonas hidrometeorológicas. Son de fácil empleo y su uso es sugerido en los casos que no se cuenta con datos propios en la localidad. Las distribuciones acumulativas medias que se presentan en la tabla se fundan en los mejores datos actualmente disponibles. En la práctica, la transición en el comportamiento de la lluvia entre una zona y la siguiente no será abrupta. Las distribuciones acumulativas de la intensidad de lluvia variarán entre una localidad y otra, dentro de una zona determinada, y pueden variar considerablemente de un año a otro.

3.4.3.2 Conversión de la distribución de la intensidad de lluvia en estadísticas equivalentes referidas a 1 minuto

Teniendo en cuenta el carácter rápidamente variable de la precipitación en cualquier punto, la distribución acumulativa de la intensidad de lluvia observada dependerá del tiempo eficaz de muestreo del pluviómetro.

A los efectos de convertir los datos obtenidos con un pluviómetro que tenga un tiempo de integración de minutos en estadísticas equivalentes de 1 minuto se puede definir un factor de conversión ρ_t [37].

$$\rho_r(P) = R_i(P)/R_r(P) \quad 3.4$$

donde R_i y R_r son los índices de intensidad de lluvia excedidos con igual probabilidad, P , durante los tiempos de integración.

3.4.3.3 Modelos para la distribución de la intensidad de lluvia

Las lluvias de gran intensidad son difíciles de registrar y medir experimentalmente y además son sumamente variables de un año a otro. Sin embargo, para el diseño de sistemas, las intensidades de lluvia máximas suelen ser de gran interés y es conveniente disponer de un modelo matemático adecuado para la distribución.

Con intensidades de lluvia medias que permiten hacer mediciones exactas, su distribución acumulativa puede aproximarse adecuadamente mediante una ley log-normal. La gama para la que esta relación puede suponerse válida depende ligeramente de la región climatológica, pero típicamente se extiende de 2 mm/h a unos 50 mm/h. La desviación típica de esta distribución está influida considerablemente por el tiempo de integración empleado en el muestreo y análisis de los datos.

Aunque la ley log-normal de distribución parece proporcionar la mejor aproximación en el caso de intensidades de lluvia bajas, los estudios efectuados sobre mediciones realizadas en Canadá indican que, para tiempos de integración cortos, una relación de ley exponencial permite aproximar satisfactoriamente la distribución acumulativa total más allá de unos 5 mm/h.

Se ha propuesto también como aproximación de la distribución de las intensidades de lluvia la función gamma, aunque esta función no parece ser aplicable generalmente en muchas regiones climatológicas. Un análisis reciente indica que la distribución de la intensidad de la lluvia se describe mejor mediante un modelo que se aproxima a una distribución log-normal para intensidades de lluvia pequeñas y presenta una distribución gamma para grandes intensidades de lluvia.

Este modelo puede expresarse por la ecuación:

$$P(R \geq r) = \frac{ae^{-ur}}{r^b} \quad r \geq 2 \text{ mm/h} \quad 3.5$$

donde a y b se derivan de la intensidad de lluvia excedida durante el 0.01% del tiempo. R es la razón de lluvia.

Los valores:

$$\begin{aligned} a &= 10^{-4} R_{0.01}^b \exp(uR_{0.01}) \\ b &= 8.22 R_{0.01}^{-0.584} \\ u &= 2.5 \times 10^{-2} \end{aligned} \quad 3.6$$

proporcionan un buen ajuste a las distribuciones observadas en la mayoría de los emplazamientos.

3.4.3.4 Estadísticas de la duración de las lluvias

La distribución estadística de la duración de las lluvias que exceden umbrales preestablecidos es también de interés para prever la fiabilidad de las comunicaciones. Estudios realizados en Japón, Francia e Italia indican que esta distribución es aproximadamente log-normal. Mediciones realizadas en Italia y Grecia indican que las duraciones medianas de las lluvias son aproximadamente inversamente proporcionales a los valores de umbral de la intensidad de lluvia [24].

3.5 ATENUACIÓN ESPECÍFICA

La lluvia produce absorción y dispersión de las ondas radioeléctricas. Estos efectos se combinan para producir atenuación. Aunque todas las frecuencias están sometidas a estos efectos, la atenuación sólo es importante en frecuencias superiores a varios gigahertz y para porcentajes de tiempo en los que la precipitación es intensa.

Suponiendo que las gotas son esféricas, puede relacionarse la atenuación específica producida por la lluvia γ_R (dB/km) a una frecuencia determinada y para la intensidad de lluvia R (mm/h), conociendo: el índice complejo de refracción del agua

a la temperatura de las gotas de lluvia, la velocidad terminal y la distribución del tamaño de las gotas de lluvia.

Los cálculos de la atenuación específica en una frecuencia dada en función de la intensidad de la lluvia dependen considerablemente de la microestructura supuesta de la lluvia (distribución del tamaño, temperatura, velocidad terminal y forma de las gotas de lluvia).

La distribución del tamaño de las gotas de lluvia de Laws y Parsons es la más corrientemente utilizada para calcular la atenuación específica, y ha sido objeto de muchas pruebas. Se basa en mediciones para intensidades de lluvia de hasta 50 mm/h, pero puede extrapolarse para intensidades superiores. También se han empleado para los cálculos de la atenuación específica otras distribuciones del tamaño de las gotas representadas por una función exponencial negativa tales como las de Marshall- Palmer, y Joss. La distribución de Joss difiere de las demás en que esta especificada generalmente para dos tipos de lluvia: Lluvia de tormenta ó convectiva y llovizna. Para las intensidades de lluvia elevadas de más importancia en el diseño de los sistemas de comunicaciones, y a frecuencias superiores de 10 GHz, la distribución de Laws y Parsons da atenuaciones específicas superiores a los de la distribución de Joss para las lluvias de tormenta. Esta diferencia es específicamente grande a frecuencias superiores a 100 GHz.

Por otra parte, la distribución de Joss para la llovizna da atenuaciones específicas mayores para intensidades de lluvia baja y para estas frecuencias elevadas. Las variaciones de temperatura de las gotas con respecto al valor supuesto sólo tienen importancia en frecuencias inferiores a 20 GHz y pueden ser causa de divergencias.

A causa de la forma no esférica de las gotas de lluvia, las ondas con polarización horizontal sufren una atenuación superior a las polarizadas verticalmente. Las atenuaciones específicas para polarizaciones vertical y horizontal y frecuencias de

hasta 100 GHz pueden obtenerse mediante cálculos extensos que tienen en cuenta la forma no esférica de las gotas de lluvia [38].

Para las aplicaciones prácticas, puede hallarse aproximadamente la relación entre el coeficiente de atenuación γ_R (dB/km) y la intensidad de lluvia R (mm/h) para una frecuencia determinada, mediante la ley exponencial [39]

$$\gamma_R = kR^\alpha$$

FALLA DE ORIGEN

3.7

En el supuesto de que las gotas sean esféricas, Olsen calculó los valores de k y α correspondientes a varias frecuencias entre 1 y 1000 GHz para diversas temperaturas de las gotas de lluvia y distribuciones del tamaño de las gotas; en la tabla 3.2 se muestran tales cálculos para una temperatura de lluvia de 0° C, la cual ha resultado ser la más aplicable en E.U. y Canadá.

| FREC (GHz) | k | | | | | α | | | | |
|---------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|-------|-------|-------|
| | LP _L | LP _H | MP | J-T | J-D | LP _L | LP _H | MP | J-T | J-D |
| 10 | 1.17x10 ⁻² | 1.14x10 ⁻² | 1.36x10 ⁻² | 1.69x10 ⁻² | 1.14x10 ⁻² | 1.178 | 1.189 | 1.150 | 1.076 | 0.968 |
| 11 | 1.50x10 ⁻² | 1.52x10 ⁻² | 1.73x10 ⁻² | 2.12x10 ⁻² | 1.41x10 ⁻² | 1.171 | 1.167 | 1.143 | 1.065 | 0.977 |
| 12 | 1.86x10 ⁻² | 1.96x10 ⁻² | 2.15x10 ⁻² | 2.62x10 ⁻² | 1.72x10 ⁻² | 1.162 | 1.150 | 1.136 | 1.052 | 0.985 |
| 15 | 3.21x10 ⁻² | 3.47x10 ⁻² | 3.68x10 ⁻² | 4.66x10 ⁻² | 2.82x10 ⁻² | 1.142 | 1.119 | 1.118 | 1.010 | 1.003 |
| 19.04 | 5.59x10 ⁻² | 6.24x10 ⁻² | 6.42x10 ⁻² | 8.68x10 ⁻² | 4.76x10 ⁻² | 1.123 | 1.091 | 1.001 | 0.957 | 1.017 |
| 19.3 | 5.77x10 ⁻² | 6.46x10 ⁻² | 6.62x10 ⁻² | 8.99x10 ⁻² | 4.90x10 ⁻² | 1.122 | 1.089 | 1.100 | 0.954 | 1.018 |
| 20 | 6.26x10 ⁻² | 7.09x10 ⁻² | 7.19x10 ⁻² | 9.83x10 ⁻² | 5.30x10 ⁻² | 1.119 | 1.083 | 1.097 | 0.946 | 1.020 |

Tabla 3.2 Coeficientes k y α para una temperatura de lluvia 0° C

LP_L y LP_H se refieren a las distribuciones Laws y Parsons asociadas a razones de lluvia de 1.27 a 50.8 mm/h y 25.4 a 152.4 mm/h respectivamente, MP se refiere a la distribución Marsall-Palmer. Joss-thunderdtom (J-T) y drizzle (J-D) se refieren a las distribuciones de Joss para tormentas y llovizna respectivamente.

También se han calculado los valores de k y α para una distribución de Laws y Parsons del tamaño de las gotas de lluvia y una temperatura de las gotas de 20° C,

suponiendo que las gotas tengan forma de esferoides achatados y estén alineadas, con un eje de rotación vertical y dimensiones relacionadas con las gotas esféricas de igual volumen. Estos valores que son apropiados para la polarización horizontal y vertical, se presentan en la tabla 3.3 (designados k_H , α_H , k_V y α_V). Los valores k y α a frecuencias diferentes de las indicadas en la tabla pueden obtenerse mediante interpolación utilizando una escala logarítmica para la frecuencia y para k y una escala lineal para α .

Para la polarización lineal y circular, los coeficientes de la ecuación 3.7, pueden calcularse mediante los valores de la tabla 3.3 utilizando las ecuaciones aproximadas siguientes:

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

$$k = \frac{k_H + k_V + (k_H - k_V) \cos^2 \theta \cos 2\tau}{2} \quad 3.8$$

$$\alpha = \frac{k_H \alpha_H + k_V \alpha_V + (k_H \alpha_H - k_V \alpha_V) \cos^2 \theta \cos 2\tau}{2k}$$

donde θ es el ángulo de elevación del trayecto y τ es el ángulo de inclinación de la polarización con respecto a la horizontal ($\tau = 45^\circ$ para la polarización circular).

| Frecuencia GHz | k_H | k_V | α_H | α_V |
|-------------------|-----------|-----------|------------|------------|
| 1 | 0.0000387 | 0.0000352 | 0.912 | 0.880 |
| 2 | 0.000154 | 0.000138 | 0.963 | 0.923 |
| 4 | 0.000650 | 0.000591 | 1.121 | 1.075 |
| 6 | 0.00175 | 0.00155 | 1.308 | 1.265 |
| 7 | 0.00301 | 0.00265 | 1.332 | 1.312 |
| 8 | 0.00454 | 0.00395 | 1.327 | 1.310 |
| 10 | 0.0101 | 0.00887 | 1.276 | 1.264 |
| 12 | 0.0188 | 0.0168 | 1.217 | 1.200 |
| 15 | 0.0367 | 0.0335 | 1.154 | 1.128 |
| 20 | 0.0751 | 0.0691 | 1.099 | 1.065 |

Tabla 3.3 Coeficientes de regresión para estimar el valor de la atenuación específica

3.6 PREDICCIONES DE LA ATENUACIÓN PRODUCIDA POR LA LLUVIA EN TRAYECTOS TERRESTRES, REALIZADAS A PARTIR DE DATOS SOBRE LA INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN

3.6.1 ESTADÍSTICAS SOBRE UN SOLO TRAYECTO

La atenuación producida por la lluvia en un trayecto puede calcularse integrando la atenuación específica a lo largo de todo el trayecto, si se conoce el comportamiento de la intensidad de precipitación en dicho trayecto.

Dada la considerable variabilidad de las estadísticas de atenuación en diferentes años y distintas localidades, parece muy prometedora la posibilidad de obtener esas estadísticas a partir de datos meteorológicos a largo plazo.

Se han supuesto varios métodos para producir estadísticas de atenuación producida por la lluvia, a partir de las mediciones de la intensidad de lluvia cerca del trayecto. Todos estos métodos utilizan la relación entre la atenuación específica y la intensidad de lluvia que se examina en el punto precedente, y que depende de la microestructura de la lluvia. Las principales diferencias en los métodos residen en los modelos utilizados para describir la estructura espacial-temporal de la intensidad de lluvia.

El método de tormenta sintética genera las estadísticas de atenuación convirtiendo los perfiles de intensidad de lluvia/tiempo, registrados en un punto, en perfiles intensidad de lluvia/distancia, utilizando la velocidad de traslación de la célula de lluvia, que se calcula bastante bien sobre la base de la velocidad del viento determinada al nivel de 700 mb mediante una radiosonda convencional. Aunque este método requiere una base de datos muy detallada, representa una técnica con un alto grado de realismo físico. Por tanto, es posible utilizar esta técnica para investigar

otras características de la atenuación, como estadísticas de la duración, métodos de escala de frecuencias y conversión de la longitud efectiva del trayecto. Todos los demás métodos utilizan la distribución acumulativa del índice de lluvia medido en un punto [40]. Un método deriva el perfil estadístico de la lluvia a lo largo del trayecto sobre la base de una sola célula de lluvia en forma adecuada. Este método ha sido cuidadosamente probado con datos europeos y ha dado resultados satisfactorios. En una ampliación reciente de este método, se ha sustituido el concepto de una sola célula de lluvia por una distribución estadística de los tamaños de las células de lluvia, lo que parece eliminar la sensibilidad del modelo a la aproximación logarítmico-normal de distribución de la intensidad de la lluvia.

Otros métodos caracterizan el perfil estadístico de la lluvia sencillamente mediante un coeficiente de reducción que puede derivarse de la función de autocorrelación espacial de la lluvia o de mediciones basadas en pluviómetros de respuesta rápida distribuidos a lo largo de una línea, o, finalmente, de una ley semiempírica. La multiplicación del índice de lluvia en un punto por este coeficiente de reducción da el índice medio equivalente de lluvia en el trayecto.

Otro procedimiento consiste en aplicar el coeficiente de reducción a la longitud real del trayecto, lo que da una longitud equivalente en la que puede suponerse que la intensidad de lluvia es constante. Un método de este tipo [40], supone que la distribución de la atenuación presenta una pendiente constante y requiere sólo el coeficiente de reducción durante el 0.01% del tiempo. En sentido estricto, este coeficiente de reducción de cualquier manera que se aplique, es una función del índice de lluvia, de la probabilidad, de la frecuencia, de la longitud del trayecto y del clima. Los diversos modelos mencionados anteriormente suponen una dependencia simple de uno o dos parámetros solamente. Si, no obstante, la distribución acumulativa a largo plazo del índice de lluvia se conoce en forma segura, se considera más conveniente utilizarlo plenamente y predecir la atenuación causada por la lluvia

tomando como base los índices de lluvia que se rebasan para las fracciones de tiempo de interés [41].

Si se requieren predicciones para porcentajes de tiempo que rebasen aproximadamente el 0.1% hay que tener presente que las mediciones de la intensidad de lluvia tienden a ser cada vez menos precisas a medida que disminuye la intensidad de lluvia. En particular, la atenuación causada por los gases puede ser no despreciable en estos porcentajes de tiempo y se tiene que agregar a la predicción causada por la lluvia.

3.6.2 ESTADÍSTICAS SOBRE DIVERSIDAD DE TRAYECTOS

La diversidad de trayectos parece ser un medio efectivo de aumentar la longitud máxima de un enlace alcanzando a la vez los objetivos de disponibilidad fijados con anterioridad. Sin embargo, dada la complejidad del problema, las técnicas para predecir las estadísticas de atenuación conjunta de trayectos en tándem se hallan todavía en fase inicial de desarrollo. Se ha utilizado la técnica de tormenta sintética, examinada en el punto precedente, cuando se dispone de los necesarios antecedentes de la intensidad de la lluvia en el tiempo. Se requiere más información sobre la estructura estadística de la intensidad de la lluvia en una zona para desarrollar modelos que permitan predecir la mejora de la diversidad de trayectos a partir de estadísticas de la intensidad de la lluvia en un punto.

3.7 PREDICCIONES DE ATENUACIÓN DEBIDA A LA LLUVIA EN TRAYECTOS TIERRA-ESPACIO A PARTIR DE DATOS SOBRE LA INTENSIDAD DE LA PRECIPITACIÓN EN FORMA DE LLUVIA

3.7.1 ESTADÍSTICAS SOBRE UN SOLO EMPLAZAMIENTO

Igual que sucede en el caso de los trayectos terrestres, parece muy deseable la posibilidad de deducir estadísticas de atenuación en el trayecto a partir de datos meteorológicos a largo plazo. Sin embargo, teniendo en cuenta que está implicada la estructura vertical de la precipitación a demás de la estructura horizontal, el problema es bastante más complejo.

A fin de tener en cuenta la estructura vertical, se han investigado varias técnicas basadas en datos distintos a las distribuciones de la atenuación y de la intensidad de la lluvia. Algunas de estas técnicas [31] y [40], son ampliaciones de las desarrolladas para los trayectos terrestres. Otras, estrictamente derivadas de trayectos tierra-espacio, parten del supuesto de modelos estadísticos para los perfiles verticales del contenido de agua líquida [42], o de la intensidad de lluvia [43]. En todos estos métodos se incluye una estimación de la altura de la lluvia, basada habitualmente en la altura isotérmica de 0°C. En uno de los métodos [31], la altura de la lluvia esta descrita dependiendo de la latitud y de la probabilidad de aparición. En éste y otros métodos [40], [41], se supone que la estructura de la lluvia es constante desde la superficie hasta la altura de la lluvia.

En un método propuesto para calcular las estadísticas de atenuación en más del 1% del tiempo, se calculan las estadísticas de la intensidad de la lluvia para este porcentaje de tiempo a partir de una relación empírica entre la precipitación total anual y la altura de la lluvia, basándose en una relación empírica con la temperatura en la superficie.

3.7.2 ESTADÍSTICAS SOBRE DIVERSIDAD DE EMPLAZAMIENTOS

Dada la estructura no homogénea de la lluvia en las direcciones horizontal y vertical, un segundo trayecto tierra-espacio paralelo al primero y rebasado por lo menos en varios kilómetros puede estar sometido a una atenuación menor que el primero, reduciéndose de esta manera los requisitos de margen. No obstante, las técnicas de predicción de la atenuación para las configuraciones de diversidad de emplazamientos se hallan en la fase inicial de desarrollo.

3.7.3 ATENUACIÓN DIFERENCIAL A LO LARGO DE DOS TRAYECTOS QUE TERMINAN EN UNA ESTACIÓN TERRENA

Se han investigado [44] los efectos conjuntos de la atenuación debida a la lluvia a lo largo de dos trayectos que terminan en una estación terrena, uno de los cuales parte de una estación espacial deseada y el otro de una estación espacial interferente. Para este problema son importantes las estadísticas de la atenuación diferencial, a condición de que la atenuación de la señal deseada sea menor que el margen de desvanecimiento.

CAPITULO 4

MODELOS DE PRECIPITACIÓN Y ATENUACIÓN POR LLUVIA

Diversos estudios muestran que un enlace no se ve afectado por la presencia de lluvia a lo largo de toda la trayectoria del mismo ni durante todo el tiempo que dura, por lo que hay que considerar que la lluvia únicamente afecta al enlace durante un período de tiempo finito y a lo largo de un segmento de su trayectoria. Así mismo, la distribución o cantidad de agua durante una tempestad no es uniforme; si la variable es el tiempo, la intensidad se incrementa por momentos, para después disminuir. El mismo fenómeno es observado, si se toma como variable a la altura.

4.1 MODELOS PARA LA PREDICCIÓN DE LA ATENUACIÓN DEBIDA A LA LLUVIA

Se han desarrollado modelos para determinar la atenuación que puede sufrir una onda electromagnética al propagarse en cuerpos de agua. Estos modelos toman como parámetros la frecuencia utilizar, la intensidad de la lluvia en la localidad del enlace y la disponibilidad deseada del mismo. En la siguiente tabla se listan algunos de los modelos propuestos para el cálculo de atenuación por lluvia:

| MODELO | ORIGEN | NOTAS |
|----------------------------------|---------------|---|
| UIT-R | INTERNACIONAL | UIT-R Rec P 618-4, 1991 |
| CCIR | INTERNACIONAL | Reporte 564-3, 1986 |
| BRASIL | BRASIL | UIT-R para regiones tropicales |
| JAPÓN | JAPÓN | UIT-R para bajas disponibilidades |
| DAH | USA | Actualización del modelo UIT |
| MODELO RICE-HOLMBERG | USA | Basado en radar |
| DOS COMPONENTES | USA | Procedimiento matemático complejo. |
| LEITAO-WATSON | UK | Basado en radar |
| MISME-WAIDTEUFEL | FRANCIA | Extensión de su modelo terrestre 1975 |
| ExCell (Exponential CELL modelo) | ITALIA | Estimación de atenuación por celdas individuales |
| SPAIN | ESPAÑA | Para lluvia intensa |
| SAM (Simple Attenuation Model) | USA | Perfeccionado para simplicidad |
| GLOBAL DE CRANE | USA | Ampliamente utilizado para la planeación de sistemas |
| Robert M. Manning | USA | Diseñado para las comunicaciones satelitales del ACTS (<i>Advanced Communications Technology Satellite</i>) |

Tabla 4.1 Modelos propuestos para el cálculo de atenuación por lluvia

Para el estudio del fenómeno diversos investigadores han diseñado modelos que proveen estadísticas de razón de lluvia y modelos de predicción de atenuación por lluvia los cuales usan las estadísticas de razón de lluvia. Entre los modelos más importantes en la actualidad a nivel mundial se encuentran los de Rice-Holmberg, Global-Crane y UIT-R.

En el presente capítulo se tratarán los modelos citados, concluyendo con una tabla comparativa de dichos modelos y sus algoritmos.

4.2 MODELO DE RICE-HOLMBERG

Todos los modelos de predicción disponibles para las estadísticas de atenuación por lluvia basan sus predicciones en modelos de distribución de razón de lluvia. El modelo Rice-Holmberg [45] es uno de los últimos, y se basa en datos climatológicos locales, para calcular las estadísticas de probabilidad de excedencia de razón de lluvia.

Los parámetros Rice-Holmberg se tienen escalados en mapas y fueron calculados de:

- Acumulaciones promedios anuales de precipitación pluvial
- Distribuciones en promedios de 15 años con intervalos de registros de 6, 12 y 24 horas
- Número de días con tormenta
- Acumulaciones de precipitación excesiva de duración corta
- Máxima acumulación de precipitación mensual en un período de 30 años

El desarrollo original del modelo fue basado en observaciones de razón de lluvia extrema promediada en 5 minutos y por hora. El mayor problema con este modelo es la incertidumbre en la forma de distribución de razón de lluvia entre 0.001% y 0.1% del año.

4.2.1 MODELO MATEMÁTICO

El modelo estadístico se basa en la suma de modos exponenciales individuales de razones de precipitación pluvial, cada uno con una razón promedio característica \bar{R} , así pues:

$$\text{Precipitación pluvial} = \text{Modo 1 de lluvia} + \text{Modo 2 de lluvia} \quad 4.1$$

donde la distribución exponencial descrita como "Modo 1 de lluvia" corresponde al análisis físico de tormentas, mientras "Modo 2 de lluvia", es toda la demás lluvia.

El promedio de lluvia total anual M es la suma de contribuciones M_1 y M_2 de los dos modos:

$$M = M_1 + M_2 \quad (\text{mm}) \quad 4.2$$

y la razón de "lluvia de tormenta", M_1 , al total de lluvia M es definida como:

$$\beta = \frac{M_1}{M} \quad 4.3$$

El número de horas de períodos t-min de lluvia para la cual se excede una razón de precipitación de lluvia puntual superficial R es la suma de contribuciones de los dos modos:

$$T_t(R) = T_{1t} q_{1t}(R) + T_{2t} q_{2t}(R) \quad (\text{h}) \quad 4.4$$

Los factores $q_{1t}(R)$ y $q_{2t}(R)$ son los complementos de las probabilidades de tiempo acumulativas. Esto es, cada factor q es el tiempo que una razón R es excedida por Modo 1 y Modo 2 de lluvia dividida por el número total de horas T_{1t} o T_{2t} .

Considerando que un año promedio tiene 8766 horas, tenemos que $\frac{T_t(R)}{87.66}$ es el porcentaje promedio anual durante el cual razones de precipitación pluvial en promedios t-min, exceden R mm/h.

Los promedios totales anuales de períodos t-min de precipitación pluvial de los modos 1 y 2 son T_{1t} y T_{2t} expresados en h. Los promedios anuales de precipitación pluvial Modo 1 y Modo 2 son:

$$R_{1t} = \frac{M_1}{T_{1t}} \quad (\text{mm/h}) \quad 4.5$$

$$R_{2t} = \frac{M_2}{T_{2t}} \quad (\text{mm/h}) \quad 4.6$$

Es importante notar que M_1 y M_2 no son funciones de t , dado que la cantidad de precipitación colectada sobre largos períodos de tiempo no depende del intervalo de registro de términos cortos t . Pero el número total de horas T_{1t} o T_{2t} , de intervalos de t-min lluviosos (colectando al menos 0.01 en o 0.254 mm de lluvia por intervalo) dependerá de t .

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Para el caso más general donde $t > 1$ min, se requiere de otro parámetro de predicción además de los dos que han sido definidos como M y β . Este parámetro adicional es el número de horas D en $D/24$ días lluviosos. Las fórmulas propuestas aquí para $q_{1t}(R)$ y $q_{2t}(R)$ asumen que el número de días lluviosos en un promedio anual es:

$$\frac{D}{24} = 1 + \frac{M}{8} \text{ (días lluviosos)} \quad 4.7$$

donde D está en horas y M en milímetros.

Para $t=1$ min, las fórmulas más generales son casi independientes de D , así que:

$$q_{1t}(R) = e^{-R/R_{1t}} \quad 4.8$$

$$q_{2t}(R) = 0.35e^{-0.453074R/R_{2t}} + 0.65e^{-2.857143R/R_{2t}} \quad 4.9$$

y el promedio anual Modo 1 y Modo 2 de razones \bar{R}_{1t} y \bar{R}_{2t} son aproximadamente 33.333 y 1.75505 mm/h, respectivamente para $t=1$ min. Así pues (4.4) puede ser escrita como:

$$T_1(R) = M \left\{ 0.03\beta e^{-0.03R} + 0.2(1-\beta) \left[e^{-0.258R} + 1.86e^{-1.63R} \right] \right\} (h) \quad 4.10$$

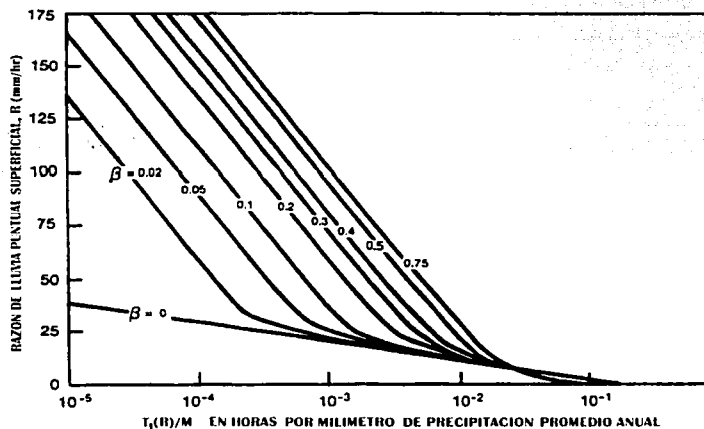


Figura 4.1 Distribuciones de tiempo acumulativas normalizadas

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Para estimar $T_1(R)$ dado R o para estimar R dado $T_1(R)$ es necesario primero referirse a las figuras 4.2 y 4.3 para obtener M y β respectivamente para el punto de interés.

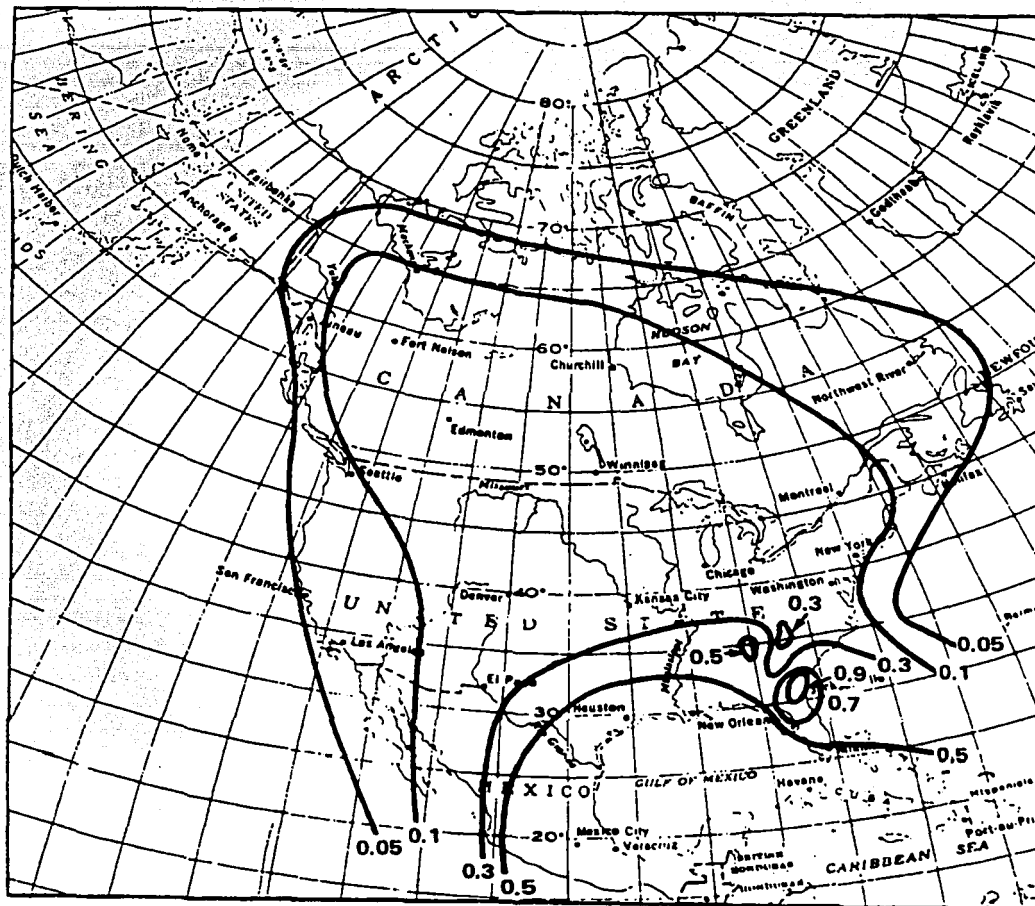


Figura 4.2 Parámetro β para el modelo Rice-Holmberg

Si R es conocido, entonces $T(R)/M$ se lee de figura 4.1 para el valor apropiado de β y es multiplicado por M para estimar $T_1(R)$.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Si $T_1(R)$ es conocido, o calculado como 87.66 % del promedio anual para el cual R es excedido, entonces $T_1(R)$ se divide primero por M antes que R sea leído de la figura 4.1 para el valor apropiado β .

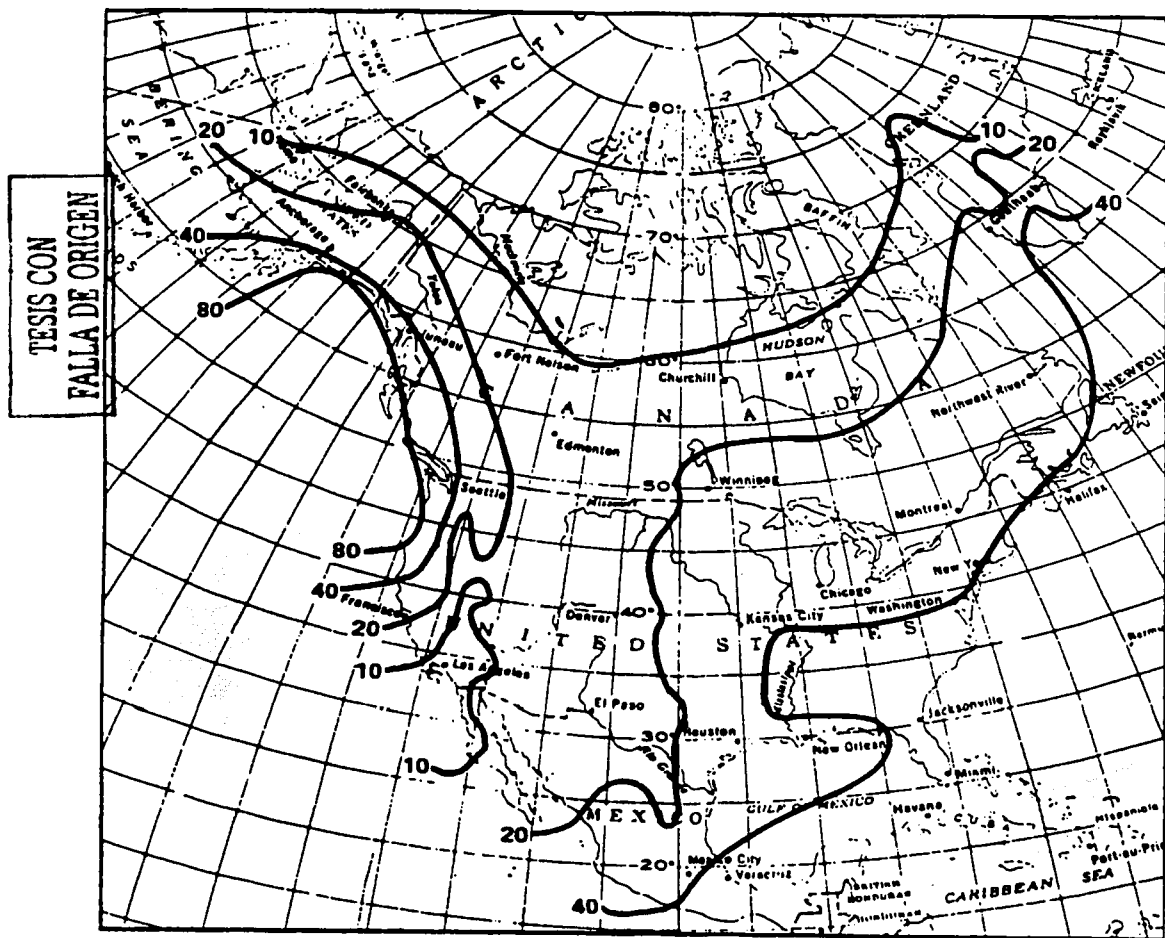


Figura 4.3 Precipitación anual media en pulgadas (Rice-Holmberg)

4.3 MODELO UIT-R

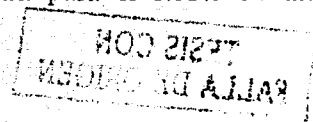
El CCIR adoptó un procedimiento para la predicción de atenuación causada por lluvia en su XV asamblea plenaria en 1982.

El procedimiento provee las bases para los cálculos de atenuación por lluvia requeridos para planeación internacional, y actualmente ha tomado el nombre de modelo UIT-R [41].

El modelo UIT-R tiene sus propios parámetros basados en zonas climáticas de lluvia. Este modelo usa mapas de zonas de lluvia y distribuciones de razón de lluvia predefinidas para cada zona y provee las estadísticas de atenuación dados los parámetros de enlace y geográficos.

Para calcular las estadísticas de atenuación debida a la lluvia en trayectos oblicuos en un punto determinado es preciso conocer los parámetros siguientes:

- Frecuencia
- Latitud de la estación terrena
- Altitud sobre el nivel del mar
- Ángulo de elevación al satélite
- Razón de precipitación pluvial puntual en la localidad para el 0.01% de un promedio anual



4.3.1 MÉTODO GENERAL

A continuación se describe el procedimiento que se sigue en el cálculo de atenuación por lluvia siguiendo el modelo UIT-R.

El primer elemento involucra un mapa (ver figura 3.6 y anexo A) de 14 zonas climáticas de lluvia con distribuciones acumulativas de intensidad de precipitación pluvial para cada región específica. Las razones de lluvia se dan para tiempos de excedencia de 0.001 a 1.0%.

Paso 1:

El UIT-R asume que la extensión horizontal de la lluvia es coincidente con la altura isotérmica de 0° C, la cual varía con la localidad, época del año, hora del día, etc.

Un valor promedio de la altura isotérmica 0° C se usa en el modelo UIT-R y se obtiene de:

$$h_R = \begin{cases} 4.0 & (\text{km}), \quad \text{para } 0 < \phi < 36^\circ \\ 4.0 - 0.075(\phi - 36) & (\text{km}), \quad \text{para } \phi \geq 36^\circ \end{cases} \quad 4.11$$

donde ϕ es la latitud de la estación terrena.

Paso 2:

La longitud de trayectoria inclinada a través de la lluvia L_s se determina geográficamente del ángulo de elevación (θ) y la altura sobre el nivel del mar (h_s).

Para $\theta \geq 5^\circ$

$$L_s = \frac{h_R - h_s}{\text{sen } \theta} \quad (\text{km}) \quad 4.12$$

Para $\theta < 5^\circ$

$$L_s = \frac{2(h_R - h_s)}{\left(\text{sen}^2 \theta + \frac{2(h_R - h_s)}{R_e} \right)^{1/2} + \text{sen } \theta} \quad (\text{km}) \quad 4.13$$

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Paso 3:

La longitud de trayectoria proyectada sobre la superficie L_G se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$L_G = L_s \cos \theta \quad (\text{km}) \quad 4.14$$

Paso 4:

Se aplica un factor de reducción para tomar en cuenta la no-uniformidad horizontal de lluvia para el 0.01% del año. Este factor esta dado por:

$$r_{0.01} = \frac{1}{1 + 0.045L_G} \quad 4.15$$

Paso 5:

Obtener la intensidad de lluvia $R_{0.01}$ excedida durante el 0.01% de un año medio. Si no se puede obtener este dato a partir de fuentes locales, se utiliza el mapa de la figura 3.6 y la tabla 3.1

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Paso 6:

La atenuación específica para 0.01% de un promedio anual se determina de la relación de leyes de potencia:

$$\gamma_R = k(R_{0.01})^\alpha \quad (\text{dB/km}) \quad 4.16$$

Los coeficientes de la relación en la frecuencia y polarización de interés pueden ser obtenidos de la tabla 3.3

Paso 7:

La atenuación excedida para 0.01% de un promedio anual es entonces obtenida de:

$$A_{0.01} = \gamma_R L_S r_{0.01} \quad (\text{dB}) \quad 4.17$$

Paso 8:

La atenuación excedida para otros porcentajes, en un rango de 0.001 a 1, son determinados por:

$$A_p = 0.12A_{0.01} p^{-(0.546+0.043 \log p)} \quad 4.18$$

4.4 MODELO GLOBAL - CRANE

En años recientes se ha hecho énfasis en el establecimiento de técnicas predictivas para la estimación estadística de la distribución de probabilidad de atenuación para una trayectoria particular.

Para la estimación del problema hay dos diferentes enfoques: uno basado únicamente en el uso de un gran número de observaciones de atenuación en diferentes frecuencias, localidades y trayectorias geométricas, y otro basado en la síntesis de valores de atenuación de datos meteorológicos. Actualmente la última es más prometedora, porque se dispone de una amplia base de datos para usarla en la estimación de funciones de distribución requeridas para modelar trayectorias de atenuación.

Para la predicción de atenuación sobre una trayectoria inclinada, se deben modelar las variaciones verticales en la intensidad de lluvia y en estado de hielo o agua. En frecuencias abajo de 60 GHz, la atenuación causada por partículas heladas tales como nieve o cristales de hielo es muy pequeña y puede ser despreciada.

El modelo Global - Crane [31] presentado a continuación puede ser usado sobre trayectorias terrestres o inclinadas. Se basa en observaciones geofísicas de razón de lluvia, estructura de la lluvia, y la variación vertical de la temperatura atmosférica.

4.4.1 PREDICCIÓN DE RAZÓN DE LLUVIA PUNTUAL SUPERFICIAL

Dado que no existe teoría para el cálculo de una distribución de razón de lluvia puntual superficial, las distribuciones estimadas son empíricas y deben ser desarrolladas de los datos disponibles de las observaciones de acumulación de lluvia.

Modelo regional:

Crane, en el procesamiento de datos de precipitación excesiva de 15 estaciones de Nueva Inglaterra y del este del estado de Nueva York, encontró que la media y la

varianza de los datos obtenidos de 7 años y 15 estaciones fueron estadísticamente idénticos con la media y la varianza para una estación en Boston. La media de razón de lluvia fue 100 mm/h, y la desviación estándar de 35 por ciento para las 15 estaciones muestra y para Boston la media de razón de lluvia fue 91 mm/h y la desviación estándar el 48 por ciento.

Este resultado implica que los mapeos regionales son útiles para la representación de distribuciones de razón de lluvia para su aplicación en localidades diferentes de la estación observadora.

Inicialmente Barry y Chouly [46], definieron 10 regiones climáticas para los EU, las cuales fueron definidas sobre bases de temperatura, altura del terreno, acumulación de lluvia promedio y tipo de vegetación, y no sobre bases de similitud en distribución de razón de lluvia.

Una comparación posterior de las funciones de distribución producidas para cada región climática dio como resultado una reducción del número de regiones climáticas de lluvia requeridas para describir las distribuciones de razón de lluvia, resultando 5 regiones climáticas. Estas regiones climáticas aunque forjadas para los EU, fueron subsecuentemente empleadas para describir regiones climáticas de lluvia del mundo entero.

En el desarrollo de un nuevo modelo global climático de lluvia para su uso en el diseño de sistemas de comunicación, el número de regiones escogidas para representar las variaciones en razones de lluvia fue extendido de 5 a 8 regiones para un mejor énfasis en la variación con la latitud.

El nuevo modelo desarrollado se presenta en las figuras 4.4 y 4.5, como se observa, los Estados Unidos están aún mapeados por 5 regiones, aunque la región D está subdividida en tres subregiones para proveer una interpolación de las supuestas distribuciones de lluvia para describir mejor las variaciones climáticas dentro de la región para aplicaciones de diseño.

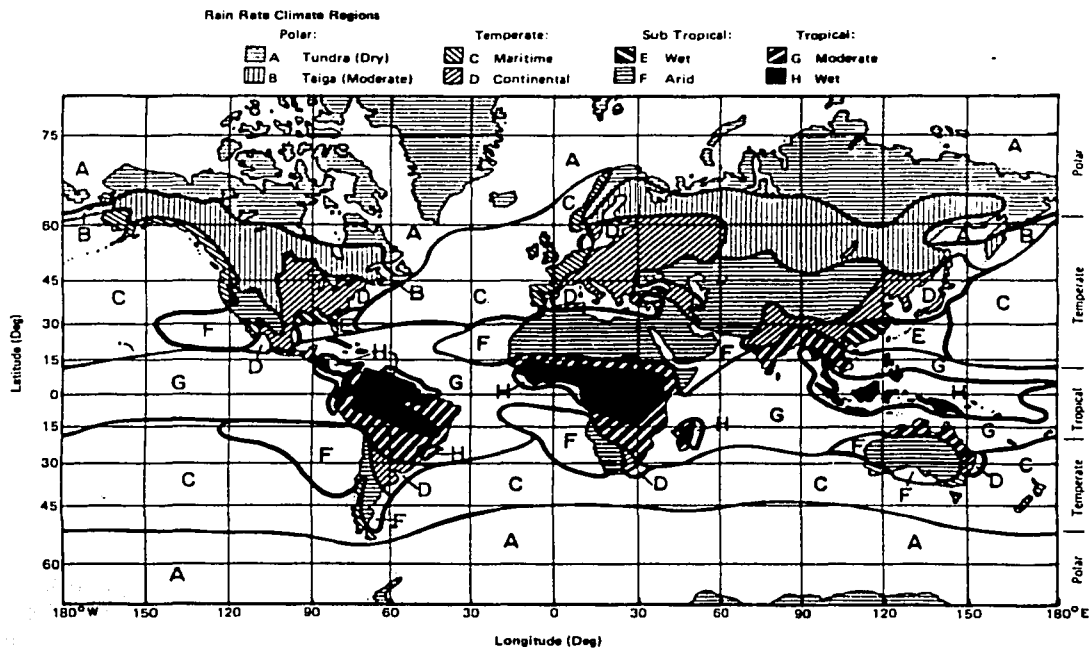


Figura 4.4 Regiones climáticas de razón de lluvia (Global-Crane)

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

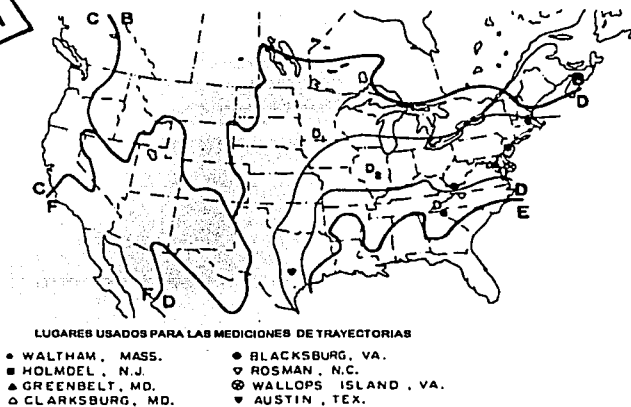
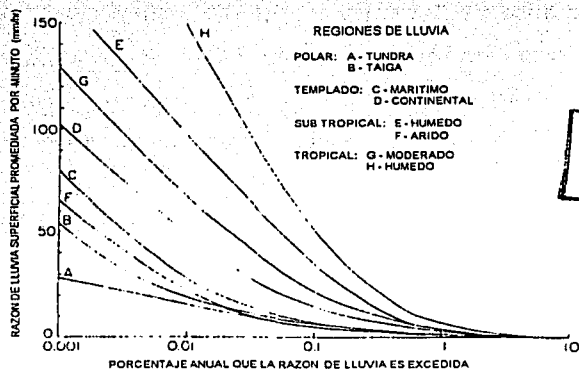


Figura 4.5 Regiones de razón de razón de lluvia en los E.U. y norte de México

Tomando en consideración datos de nubes por satélite, observaciones de razón de lluvias en radiómetros de microondas, y datos de frecuencia de precipitaciones, se logró extender las regiones climáticas de lluvia sobre los océanos.

Las mediciones disponibles de distribuciones de razón de lluvia fueron obtenidas para cada una de las regiones climáticas, y se usaron para obtener la distribución de razón de lluvia media para la región. Las distribuciones resultantes para cada una de las 8 regiones climáticas se describen en la figura 4.6 y en la tabla 4.2



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Figura 4.6 Funciones de distribución de precipitación

| Porcentaje anual | Regiones climáticas de lluvia | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------------------------------|-----|-----|----------------|----------------|----------------|-----|-----|-----|-----|
| | A | B | C | D ₁ | D ₂ | D ₃ | E | F | G | H |
| 0.001 | 28 | 54 | 80 | 90 | 102 | 127 | 164 | 66 | 129 | 251 |
| 0.002 | 24 | 40 | 62 | 72 | 86 | 107 | 144 | 51 | 109 | 220 |
| 0.005 | 19 | 26 | 41 | 50 | 64 | 81 | 117 | 14 | 85 | 178 |
| 0.01 | 15 | 19 | 28 | 37 | 49 | 63 | 98 | 23 | 67 | 147 |
| 0.02 | 12 | 14 | 18 | 27 | 35 | 48 | 77 | 14 | 51 | 115 |
| 0.05 | 8.0 | 9.5 | 11 | 16 | 22 | 31 | 52 | 8.0 | 33 | 77 |
| 0.1 | 5.5 | 6.8 | 7.2 | 11 | 15 | 22 | 35 | 5.5 | 22 | 51 |
| 0.2 | 4.0 | 4.8 | 4.8 | 7.5 | 9.5 | 14 | 21 | 3.2 | 14 | 31 |
| 0.5 | 2.5 | 2.7 | 2.8 | 4.0 | 5.2 | 7.0 | 8.5 | 1.2 | 7.0 | 13 |
| 1.0 | 1.7 | 1.8 | 1.9 | 2.2 | 3.8 | 4.0 | 4.0 | 0.8 | 3.7 | 6.4 |
| 2.0 | 1.1 | 1.2 | 1.2 | 1.3 | 1.8 | 2.5 | 2.0 | 0.4 | 1.6 | 2.8 |
| Número de estaciones de datos | 0 | 25 | 44 | 15 | 99 | 18 | 12 | 20 | 2 | 11 |

Tabla 4.2 Distribuciones de precipitación vs. porcentaje anual en que es excedida

La región D, como un resultado de los refinamientos usados para preparar las distribuciones finales, mapea un gran número de razones de lluvia en una excedencia de probabilidad dada. Para su aplicación dentro de México, la región D está limitada por la región G en el sureste y por las regiones E y F al norte y oeste.

Son posibles posteriores subdivisiones, pero dependen de la disponibilidad de datos de razón de lluvia adecuados y de un mejor entendimiento de los efectos locales del terreno, y de los tipos de tormentas regionales y movimientos.

El modelo climático de lluvia resultante provee datos de distribución de razón de lluvia necesarios para la estimación de la atenuación. Las regiones fueron escogidas para mapear áreas con variaciones en los valores de distribución de razón de lluvia aproximadamente idénticos año a año y localidad a localidad.

4.4.2 PREDICCIÓN DE RAZÓN DE LLUVIA Y ATENUACIÓN ESPECÍFICA A LO LARGO DE UNA TRAYECTORIA DE PROPAGACIÓN

Un modelo para la predicción de razón de lluvia puntual superficial es únicamente el primer paso en el desarrollo del modelo para la predicción de atenuación. La lluvia es característicamente inhomogénea en el plano horizontal y se requiere de un modelo estadístico para proveer una estimación del efecto de inhomogeneidad sobre la estimación de la atenuación.

Los parámetros del fluido dinámico usados para caracterizar el flujo son débilmente dependientes del clima; por lo tanto, la estructura horizontal de lluvia podría no depender de la región climática. De ahí que, datos sobre el tamaño de célula de lluvia, espaciamiento y la variación condicional punto a trayectoria en razón de lluvia, puedan ser obtenidos de diferentes localidades geográficas y regiones climáticas de lluvia. Crane contó con datos en un número limitado de localidades obtenidos de una línea de mediciones a lo largo de una trayectoria y los analizó para proveer una relación condicional punto a trayectoria para longitudes de 5, 10 y 22.5 km.

La razón de lluvia de trayectoria promedio fue graficada contra la razón de lluvia puntual superficial para igual excedencia de probabilidad. La razón de lluvia superficial fue usada como la variable independiente, porque los valores de razón de lluvia son una mejor medida de la intensidad de lluvia cuando los datos son obtenidos de varias regiones climáticas. El valor de trayectoria promedio se expresa como un factor de trayectoria promedio efectiva r donde:

$$r = \frac{\bar{R}}{R_p}$$

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

4.19

donde \bar{R} es la razón de lluvia de trayectoria promedio y R_p es la razón de lluvia puntual superficial.

Asumiendo independencia entre las razones anteriores, el valor de razón de lluvia de trayectoria integrada ($\bar{R}D$) para una trayectoria de longitud D_2 es igual al valor para una trayectoria de longitud D_1 , cuando la probabilidad de excedencia es ajustada por las longitudes relativas de las trayectorias:

$$P(\bar{R}, D_1) = P(\bar{R}_2 D_2) \cdot \left[\frac{D_1}{D_2} \right], \quad \bar{R}D = \bar{R}_1 D_1 = \bar{R}_2 D_2 \quad 4.20$$

donde $P(\bar{R}D)$ es la probabilidad de que \bar{R} sea excedida sobre una trayectoria de longitud D . Los parámetros de la relación de ley de potencias fueron establecidos empíricamente para distancias de 0 a 22.5 km. La ley de potencias es expresada por:

$$r = \gamma(D) R_p^{\delta(D)} \quad \bar{R} = r R_p = \gamma R_p^{(1+\delta)} \quad 4.21$$

donde $\delta(D)$ y $\gamma(D)$ están dados en la figura 4.7 (a) y (b).

$$A(R_p, D) = \begin{cases} kR_p^\alpha \left[\frac{e^{uad} - 1}{u\alpha} - \frac{b^\alpha e^{rad}}{c\alpha} + \frac{b^\alpha e^{rad}}{c\alpha} \right] & d \leq D \leq 22.5(\text{km}) \\ kR_p^\alpha \left[\frac{e^{uad} - 1}{u\alpha} \right] & 0 < D \leq d \end{cases} \quad 4.22$$

donde A está en dB, R_p en mm/h, la atenuación específica en dB/km está relacionada a la razón puntual superficial por kR_p^α y los coeficientes permanentes son constantes empíricas del modelo exponencial.

$$u = \frac{\ln[be^{rd}]}{d}, \quad d \text{ en km} \quad 4.23$$

$$b = 2.3R_p^{-0.17}, \quad R_p \text{ en mm/h} \quad 4.24$$

$$c = 0.026 - 0.03 \ln R_p \quad 4.25$$

$$d = 3.8 - 0.6 \ln R_p$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

NOV 4:26 PM
1980 10

4.4.3 PREDICCIÓN DE LA VARIACIÓN VERTICAL DE ATENUACIÓN ESPECÍFICA

El modelo punto a trayectoria predice la variación de la razón de lluvia a lo largo de una trayectoria horizontal y es adecuado para usarlo en el diseño de sistemas de comunicación terrestre. Para trayectorias inclinadas, la variación de atenuación específica en el eje vertical es también importante. Observaciones de radar muestran que la lluvia está caracterizada sobre el promedio por una constante reflectiva de la superficie a la altura isotérmica de 0°C .

Un modelo útil para la estructura vertical de atenuación específica asume por lo tanto un valor constante desde la superficie hasta la altura isotérmica de 0°C . El valor de atenuación específica se deduce de la razón de lluvia puntual superficial usando una relación derivada teóricamente y basada en el análisis de los datos de distribución de tamaño de gota.

La altura isotérmica de 0° C varía con las condiciones meteorológicas. El promedio zonal y temporal (promediado en una latitud y longitud constante), de la altura isotérmica de 0° C varía de 4.7 km en los trópicos a 4.1 km en 40° latitud.

La altura isotérmica de 0° C tiene una marcada dependencia temporal. Cuando se adapta a la variación temporal de la ocurrencia de las razones de lluvia altas, la altura isotérmica de 0° C que se usa para la predicción de atenuación depende de la latitud y de la probabilidad de ocurrencia (ver figura 4.8).

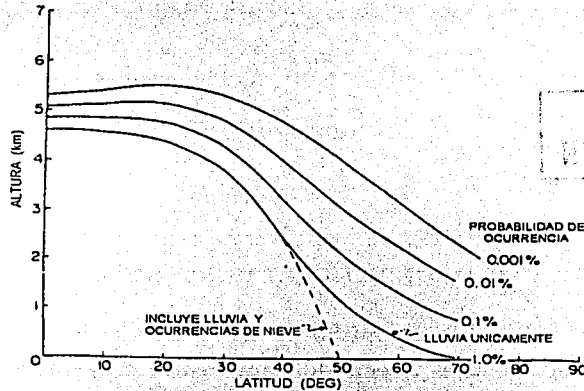


Figura 4.8 Altura isotérmica de 0° C

Para la estimación de la incertidumbre del modelo, la incertidumbre temporal rms en la altura 0° C fue 500 m o aproximadamente 13 por ciento del promedio de altura estimada.

El modelo completo para la estimación de la atenuación sobre una trayectoria vertical, comienza con la determinación de la distancia vertical entre la altura de la estación terrena y la altura isotérmica de 0° C ($H - H_0$, donde H_0 es la altura de la estación) para el porcentaje del año o R_p de interés. La proyección superficial de la trayectoria entre la superficie y los 0° C isotérmicos es usada para calcular D :

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

1102 2127
UNAM

$$D = \begin{cases} (H - H_0) / \tan \theta, & \theta \geq 10^\circ \\ E\Psi, & \theta < 10^\circ \end{cases} \quad \Psi \text{ en radianes,} \quad 4.27$$

donde:

$$\Psi = \sin^{-1} \left[\frac{\cos \theta}{(H + E)} \left(\sqrt{(H_0 + E)^2 \sin^2 \theta + 2E(H - H_0) + H^2 - H_0^2} - (H_0 + E) \sin \theta \right) \right]$$

E es el radio efectivo de la tierra (8500 km) y θ es el ángulo de elevación.

La atenuación superficial proyectada es calculada de la ecuación 4.22, y finalmente, el valor para la trayectoria inclinada A_s es estimada usando la constante de atenuación específica bajo H por:

$$A_s = \frac{LA(D)}{D} \quad 4.28$$

donde:

$$L = \begin{cases} \frac{D}{\cos \theta}; & \theta \geq 10^\circ \\ \sqrt{(E + H_0)^2 + (E + H)^2 - 2(E + H_0)(E + H) \cos \Psi}; & \theta < 10^\circ \end{cases}$$

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

4.4.4 APLICACIÓN PASO POR PASO DEL MODELO DE PREDICCIÓN DE ATENUACIÓN

Paso 1:

Determinar la distribución de razón de lluvia R_p .

1a) Localizar los puntos finales de trayectoria (terrestres) o la estación terrena sobre el mapa y determinar la región de lluvia climática A-H en la figura 4.4

1b) Obtener la distribución de razón de lluvia de la tabla 4.2

Paso 2:

Establecer la longitud de trayectoria superficial proyectada D.

2a) Para trayectoria terrestres, D es la separación entre antenas.

2b) Para trayectorias inclinadas, la distancia D es calculada de:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

$$D = \begin{cases} \frac{H(P) - H_0}{\tan \theta} & \theta \geq 10^\circ \\ E^\Psi & \theta < 10^\circ \end{cases}$$

(ver ecuación 4.27) Ψ en radianes

donde θ es el ángulo de elevación, H_0 es la altura de estación y $H(P)$ es la altura 0°C isotérmica obtenida por interpolación para el porcentaje de tiempo P de interés de la figura 4.8, Interpolar $H(P)$ contra $\log P$, y usar una línea recta para relacionar H a $\log P$.

2c) Si $D > 22.5 \text{ km}$, usar $D_0 = 22.5 \text{ km}$ y una nueva razón de lluvia puntual R'_p para la probabilidad de ocurrencia modificada.

$$P' = P \left[\frac{D_0}{D} \right]$$

para subsecuentes cálculos.

Paso 3:

Determinar k y α para la frecuencia de interés de las tablas.

Paso 4:

Calcular el valor de atenuación superficial proyectado A , de la R_p y D (o R'_p y D_0). R_p es la razón de lluvia obtenida de la distribución de razón de lluvia para la probabilidad de ocurrencia de interés P :

$$A(R_p, D) = \begin{cases} kR_p^\alpha \left[\begin{matrix} e^{u\alpha} - 1 & - & b^\alpha e^{c\alpha d} & + & b^\alpha e^{c\alpha D} \\ u\alpha & & c\alpha & & c\alpha \end{matrix} \right] & d \leq D \leq D_0 \\ kR_p^\alpha \begin{bmatrix} e^{u\alpha} - 1 \\ u\alpha \end{bmatrix} & D < d \\ kR^\alpha [H(P) - H_0] & \begin{matrix} D = 0 \\ (\theta = 90^\circ) \end{matrix} \end{cases}$$

donde:

$$u = \frac{\ln[be^{cd}]}{d}$$

$$b = 2.3R_p^{-0.17}$$

$$c = 0.026 - 0.03 \ln R_p$$

$$d = 3.8 - 0.6 \ln R_p$$

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Paso 5:

Ajuste para la altura a lo largo de una trayectoria inclinada (No aplicable para enlaces tierra-tierra). Ver ecuación 4.28 para $\theta < 10^\circ$

$$A_s = \frac{LA(R_p, D)}{D} = \frac{A(R_p, D)}{\cos \theta} \quad \theta \geq 10^\circ$$

donde A_s es la atenuación de trayectoria inclinada.

4.5 TABLA COMPARATIVA Y ALGORITMOS

4.5.1 TABLA COMPARATIVA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En la siguiente tabla se comparan los diferentes modelos discutidos.

| MODELO | DATOS DE ENTRADA | SALIDAS | COMENTARIOS |
|-----------------|--|---|--|
| Rice - Holmberg | <ul style="list-style-type: none"> • Precipitación pluvial media anual de la locación. • Razón de tormentas a lluvia total. | Distribuciones de precipitación pluvial acumulativas. (Estadísticas de razón de lluvia). | <ul style="list-style-type: none"> * Considera dos modos de lluvia: Tormentas y lluvia uniforme. * Los parámetros se tienen escalados en mapas y fueron calculados basándose en datos climatológicos locales. * Su mayor problema es la incertidumbre de las distribuciones de razón de lluvia entre 0.001% y 0.1% del año. * Se aplica globalmente. |
| Global-Crane | <ul style="list-style-type: none"> • Parámetros geográficos de la estación terrena: Latitud, altura sobre el nivel del mar. • Parámetros de enlace: Frecuencia, ángulo de elevación al satélite. • Razón de precipitación pluvial para un porcentaje del año. | Atenuación por lluvia asociada con un porcentaje de tiempo de excedencia. (Estadísticas de atenuación). | <ul style="list-style-type: none"> * Usa mapas de zonas de lluvia y distribuciones medias de lluvia predefinidas para cada zona. * Cuenta con 12 zonas climáticas de lluvia. * Aplicado globalmente |
| UIT-R | <ul style="list-style-type: none"> • Parámetros geográficos de la estación terrena: Latitud, altura sobre el nivel del mar. • Parámetros de enlace: Frecuencia, ángulo de elevación al satélite. • Razón de precipitación pluvial para el 0.01% del año. | Atenuación por lluvia asociada con un porcentaje de tiempo de excedencia. (Estadísticas de atenuación). | <ul style="list-style-type: none"> * Usa mapas de zonas de lluvia y distribuciones medias de lluvia predefinidas para cada zona. * Cuenta con 15 zonas climáticas de lluvia. * Aplicado globalmente |

Tabla 4.3 Comparaciones entre los diferentes modelos estudiados

4.5.2 DIAGRAMAS DE FLUJO

Diagrama de flujo del Modelo UIT-R

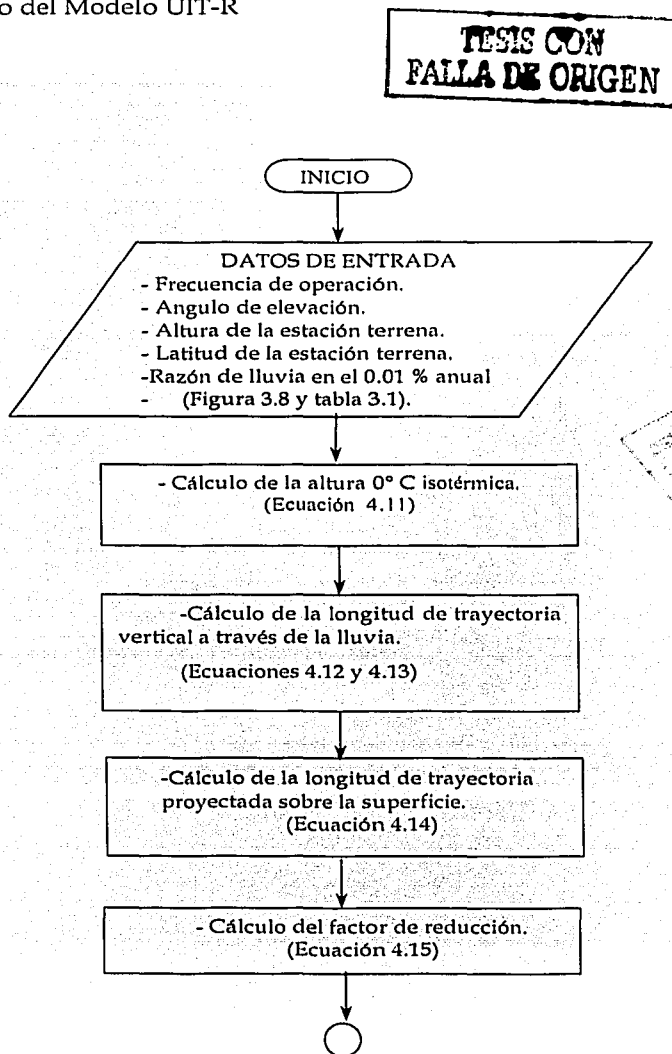


Diagrama de flujo del Modelo UIT-R (continuación)

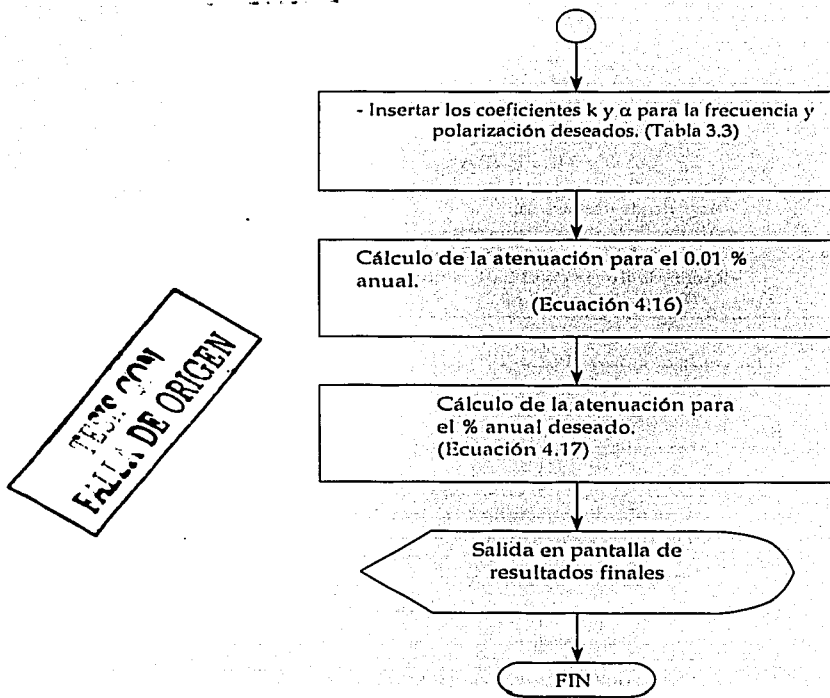
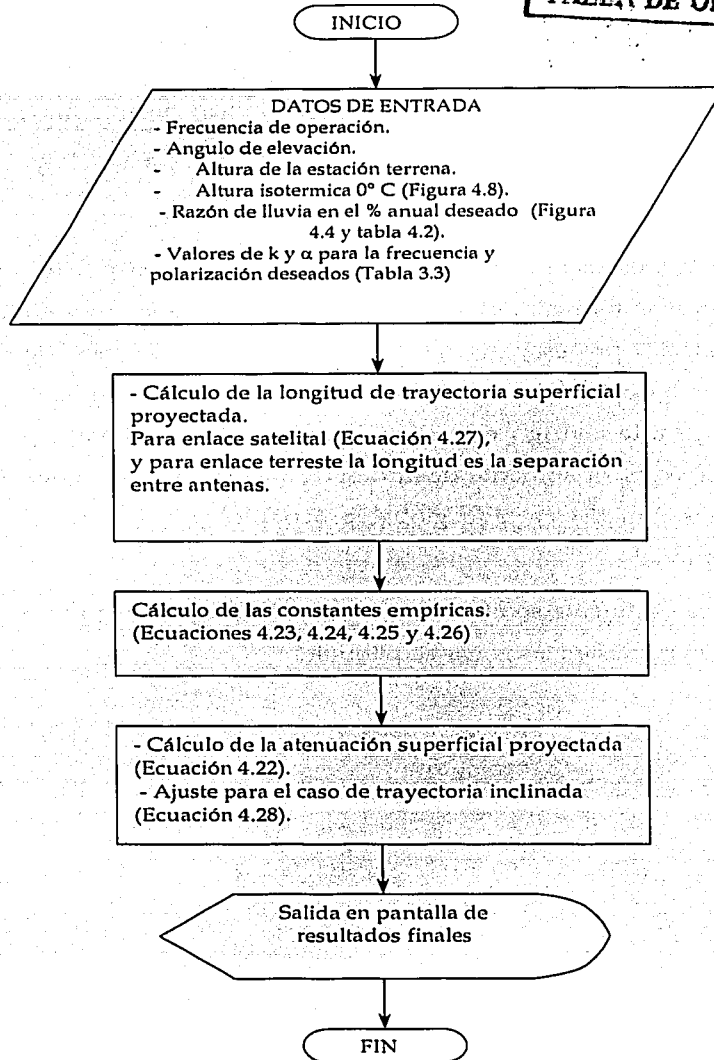


Diagrama de flujo del Modelo de Global-Crane

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

CAPITULO 5

DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE ATENUACIÓN POR LLUVIA

El último siglo se ha caracterizado por un impresionante desarrollo tecnológico. Viajar al espacio, erradicar enfermedades anteriormente consideradas mortales, comunicarse a grandes distancias, procesar y transferir colosales volúmenes de información en cuestión de segundos son hoy cosa de todos los días. Sin embargo, esta revolución tecnológica ha traído consigo elevados costos ambientales, como la deforestación, la extinción de especies, el aumento de la desertificación, la contaminación del aire y del agua y cambios climáticos a nivel global, provocando grandes cambios en la tasa de precipitación pluvial.

En el mapa siguiente se observa como se distribuyen las precipitaciones anuales, situándose los máximos en las zonas ecuatoriales.

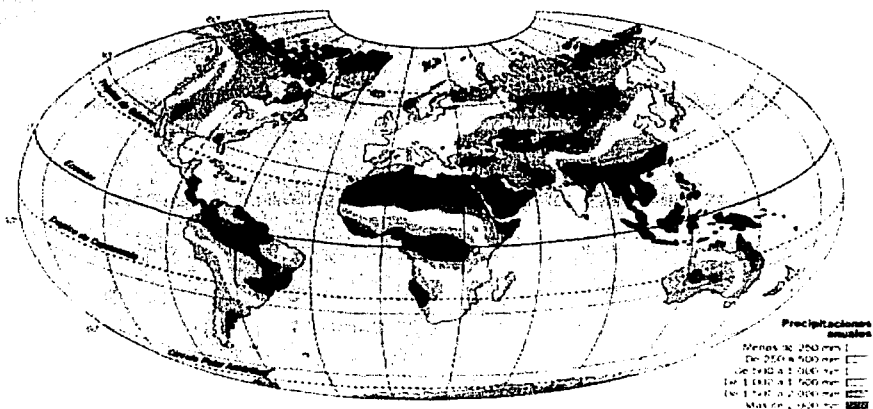


Figura 5.1 Mapa de distribución de precipitaciones

Las precipitaciones inferiores a 250 mm corresponden a desiertos; en cambio las precipitaciones superiores a 1000 mm corresponden a zonas muy lluviosas [47].

Estos cambios climáticos provocaron la necesidad de actualizar los márgenes de atenuación por lluvia que utilizaba Satmex, requiriendo un nuevo estudio de las precipitaciones a lo largo de la cobertura del satélite Satmex 6, que será lanzado próximamente. La huella del satélite Satmex 6 para banda Ku se muestra en la figura 5.2 [14].

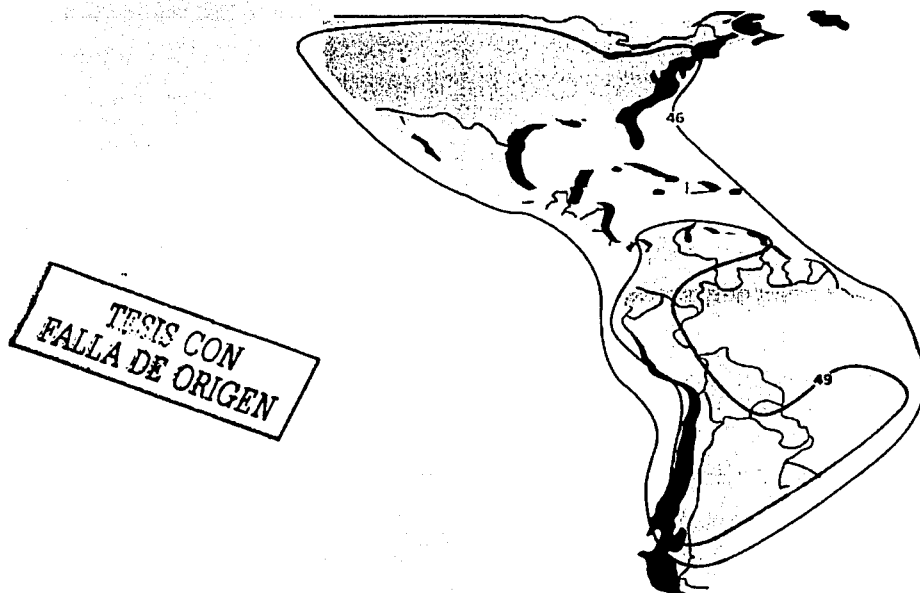


Figura 5.2 Cobertura del Satmex 6 para banda Ku

El algoritmo que realizamos en el presente trabajo es utilizable para cualquier satélite que transmita en banda Ku y en cualquier localidad, siempre y cuando se disponga de los datos climatológicos correspondientes.

Dada la dificultad para obtener los datos para todas las localidades en la cobertura del satélite Satmex 6 en todo el continente, el estudio se realizó para la República Mexicana, donde el Servicio Meteorológico Nacional es la unidad administrativa del

Mexicana, donde el Servicio Meteorológico Nacional es la unidad administrativa del gobierno federal responsable de brindar el servicio de consulta de información climatológica a todo usuario que lo requiera, para considerar el recurso natural del clima y su variabilidad en la planeación, operación y evaluación de las diferentes actividades del país. En todo caso, para extender los resultados de este trabajo a otras regiones dentro de la cobertura satelital, sólo es necesario disponer de los datos pluviales correspondientes.

El Banco Nacional de Datos Climatológicos incluye registros históricos de la red climatológica nacional (5000 estaciones), red sinóptica de superficie y altura (77 observatorios y 11 estaciones de radio sondeo), con registros en algunos casos desde fines del siglo XIX hasta la fecha[48]. La facilidad de acceso de los datos no es la óptima, principalmente por el tiempo que tarda el SMN en proporcionar los mismos, en forma impresa, lo que implica la captura y adecuación de la información. Para los fines del presente trabajo, se eligió una ciudad representativa para tres regiones hidrometeorológicas diferentes. Para la selección de las ciudades se tomó como base la división que hacen los modelos de precipitación pluvial Global-Grane y el UIT-R para la República Mexicana, así como la disposición que existe de los datos de las diferentes ciudades, los cuales ubican a cada una de las ciudades en una de tres regiones distintas como se puede observar en las figuras 3.8 y 4.4. Coatzacoalcos Ver., la Cd. de México y Hermosillo Son., fueron las ciudades seleccionadas que tienen precipitaciones alta, media y baja respectivamente.

5.1 ANÁLISIS DE LOS DATOS DE PRECIPITACIÓN PLUVIAL

Una vez con los fundamentos teóricos presentados en el capítulo 4 sobre los modelos de predicción de precipitación pluvial y atenuación por lluvia, se procedió al desarrollo de los modelos de precipitación pluvial.

Para la presentación de los modelos obtenidos se uso de los formatos gráficos de estadísticas acumulativas propuestos por la NASA, esto con la intención de facilitar la

comparación de los resultados obtenidos con los propuestos por Global-Crane, UIT-R y Rice-Holmberg. Las estadísticas acumulativas dan una estimación de la precipitación acumulada en un tiempo total, durante un periodo amplio; una atenuación o razón de lluvia se espera exceda una cantidad dada. Las estadísticas obtenidas con un sólo año de datos no son recomendables ya que se espera tengan grandes fluctuaciones año tras año debido a la gran variabilidad del clima por lo cual, se deben considerar al menos 5 años de datos para obtener estadísticas confiables y estables. Para nuestro propósito se consideraron 10 años de datos de precipitación pluvial para cada uno de los sitios estudiados.

5.1.1 RECOPIACIÓN DE DATOS

Para la obtención de los datos de precipitación pluvial se acudió al Servicio Meteorológico Nacional, en donde se proporcionaron datos para un periodo de diez años para cada una de las ciudades estudiadas.

El formato impreso en que se proporcionan los datos con los que se desarrolló el estudio se presenta en la figura 5.3, en donde, como se observa, los datos son valores de precipitaciones horarias acumuladas, dadas en milímetros. Así pues, las unidades de razón de lluvia se obtienen directamente siendo éstas mm/h.

En realidad la razón de lluvia es un número que es imposible medir de manera exacta. En la práctica el dispositivo utilizado para hacer la medición (pluviómetro) cuenta con una charola de almacenamiento de área finita (mm^2). Así el volumen de agua colectado en la sonda (mm^3) es entonces dividido por el área para producir $\text{mm}^3/\text{mm}^2 = \text{mm}$, y finalmente se divide por el tiempo de acumulación (h) logrando mm/h. El tiempo de acumulación o tiempo en que se toma lectura tras lectura se denomina tiempo de integración.

Actualmente el tiempo de integración más utilizado para obtener modelos de precipitación es de 5 minutos, aunque algunos investigadores opinan que el tiempo de integración exacto varía dependiendo de la localidad. Para nuestro estudio se utilizó el

tiempo de integración de 1 hora debido a la disponibilidad de los datos de acuerdo a Lin [27], quien indica que para lugares con umbrales de lluvia menores a 76 mm/h el tiempo de integración adecuado para obtener su distribución de razón de lluvia es una hora. En nuestro caso, la razón de lluvia máxima promedio en una hora, para la Cd. de Coatzacoalcos, no rebasa 76 mm/h, por lo cual se deduce que los resultados obtenidos son confiables, aunque convendría verificarlos en la práctica.

Al utilizar un tiempo de integración de una hora se tiene la limitante de no poder modelar para porcentajes menores que el 0.01% anual; sin embargo, se cubre el requisito importante en los sistemas de comunicación de contar con una disponibilidad del 99.99%.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



COMISION NACIONAL DEL AGUA
SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL
REGISTRO DE OBSERVACIONES EN HORA LOCAL

CLAVE DEL OBSERVATORIO _____ AÑO _____ MES _____ DIA _____ LATITUD _____ LONGITUD _____ ALTITUD _____ MIS S.N.M _____

| TEMPERATURAS (°C) | | | | BAROMETRO (mm) | | | | NUBOSIDAD (%) | | | | VIENTOS (km/h) | | | | PRECIPITACION (mm) | | | | HUMEDAD (%) | | | | OTROS | | | | | | | | | | | |
|-------------------|--------|--------|----------------|------------------------|--------|--------|----------------|---------------|--------|--------|----------------|----------------|--------|--------|----------------|--------------------|--------|--------|----------------|-------------|--------|--------|----------------|-----------|--------|--------|----------------|--------|--------|--------|----------------|-------------|--|--|--|
| PSICROMETRO | | | | PRESION DE LA ESTACION | | | | BAJAS | | | | MEDIAS | | | | ALIAS | | | | DIRECCION | | | | VELOCIDAD | | | | TIPO | | | | TEMPERATURA | | | |
| MAXIMO | MINIMO | ACTUAL | DE LA ESTACION | MAXIMO | MINIMO | ACTUAL | DE LA ESTACION | MAXIMO | MINIMO | ACTUAL | DE LA ESTACION | MAXIMO | MINIMO | ACTUAL | DE LA ESTACION | MAXIMO | MINIMO | ACTUAL | DE LA ESTACION | MAXIMO | MINIMO | ACTUAL | DE LA ESTACION | MAXIMO | MINIMO | ACTUAL | DE LA ESTACION | MAXIMO | MINIMO | ACTUAL | DE LA ESTACION | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | </ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

5.1.2 RESULTADOS OBTENIDOS

Desarrollando un análisis acumulativo de los datos de precipitación se obtuvieron las tablas y gráficos de estadísticas acumulativas de precipitación pluvial, mostradas mas adelante.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Su desarrollo es el siguiente:

1. Se consideraron $24 \times 365 = 8760$ datos de precipitación y a la vez éste es el número de horas para cada año que equivalen a un 100 % en tiempo.
2. Los 8760 datos se agruparon de mayor a menor y progresivamente se obtuvieron los porcentajes equivalentes.

Para la ciudad de Coatzacoalcos Ver., en el año de 1996, las precipitaciones máximas fueron 45.8 y 35.4 mm/h. Resultando que para una hora, que es igual al 0.011% anual se obtiene una precipitación de al menos 45.8 mm/h, y para el 0.023 % anual (2 horas) se obtiene una precipitación de al menos 35.4 mm/h. A continuación se presentan los resultados anuales, tanto en tablas como en gráficas, en donde se visualizan las estadísticas acumulativas.

| COATZACOALCOS VER. | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------------|
| No. HRS | % ANUAL | AÑOS | | | | | | | | | | PROM. [mm/h] |
| | | 1996 | 1995 | 1993 | 1992 | 1991 | 1990 | 1989 | 1988 | 1987 | 1986 | |
| 1 | 0.0115 | 45.8 | 48 | 48 | 75.4 | 82 | 49 | 76.2 | 51.8 | 60.2 | 67.2 | 60.36 |
| 2 | 0.0231 | 35.4 | 47.3 | 45.2 | 51 | 46.9 | 46.4 | 44.5 | 39.7 | 47.6 | 62.4 | 46.64 |
| 3 | | 31.5 | 41 | 37 | 50.4 | 37.2 | 44.9 | 41.5 | 39.7 | 42.9 | 44.6 | 41.07 |
| 4 | | 30.4 | 40 | 36.6 | 42.7 | 37.1 | 39.6 | 38.5 | 37.7 | 33.8 | 43.5 | 37.99 |
| 5 | 0.0578 | 30.1 | 37.5 | 32.4 | 40.8 | 36.8 | 39.6 | 36.8 | 36.4 | 32 | 40.7 | 36.31 |
| 6 | | 29.9 | 36.5 | 32 | 35.9 | 35.4 | 37.7 | 36.6 | 34.7 | 28 | 35.6 | 34.23 |
| 7 | | 28 | 36 | 31.9 | 35.8 | 34.7 | 36.1 | 35.1 | 31.3 | 27.9 | 35.1 | 33.19 |
| 8 | | 27.8 | 34 | 31.3 | 29.2 | 35.8 | 35.2 | 27.9 | 30.8 | 26.8 | 34.4 | 31.32 |
| 9 | 0.1041 | 27.2 | 30.5 | 30.8 | 29 | 32.1 | 34.4 | 25.7 | 29.6 | 26.6 | 32.8 | 29.87 |
| 10 | 0.1157 | 27 | 30.5 | 30.8 | 26.2 | 30 | 32.8 | 24.8 | 28.1 | 25 | 30.2 | 28.54 |
| 11 | | 25.8 | 30 | 29 | 26 | 28.9 | 31.6 | 24.3 | 28 | 24.9 | 29.7 | 27.82 |
| 12 | | 25.7 | 28.5 | 29 | 24.7 | 28.5 | 30 | 24.3 | 27.4 | 24 | 27.9 | 27 |
| 13 | | 24.2 | 27.5 | 28.2 | 24 | 26.5 | 29.4 | 23.2 | 25.4 | 22.5 | 27.3 | 25.82 |
| 14 | | 23.5 | 26 | 27.2 | 23.9 | 25.4 | 29.3 | 22.6 | 25.3 | 21.7 | 26.8 | 25.17 |
| 15 | 0.1736 | 22.5 | 25 | 27 | 21.6 | 24.5 | 28.8 | 22.5 | 24.8 | 21.1 | 26.1 | 24.39 |

ANÁLISIS DE LOS DATOS DE PRECIPITACIÓN POR LLUVIA

COATZACOALCOS VER.

| No. IIRS | % ANUAL | AÑOS | | | | | | | | | | PROM. [mm/h] |
|----------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------|
| | | 1996 | 1995 | 1993 | 1992 | 1991 | 1990 | 1989 | 1988 | 1987 | 1986 | |
| 16 | | 22.4 | 25 | 26.7 | 21.5 | 24.5 | 27.9 | 22.1 | 22.8 | 21 | 25.2 | 23.91 |
| 17 | 0.1967 | 22.1 | 24 | 25.7 | 21.4 | 22.9 | 26.2 | 20.7 | 21.4 | 20.9 | 25.2 | 23.05 |
| 18 | | 21.6 | 24 | 25.6 | 21.2 | 22.4 | 24 | 20 | 21.2 | 19.2 | 23.7 | 22.29 |
| 19 | | 20.9 | 23.4 | 25 | 21.1 | 21 | 23.3 | 20 | 20.5 | 19.2 | 22.3 | 21.67 |
| 20 | 0.2314 | 20.9 | 23.2 | 23.9 | 20.7 | 21 | 22.6 | 19.8 | 20.4 | 18.5 | 20.6 | 21.16 |
| 21 | | 20.5 | 23 | 23.5 | 20.6 | 20.1 | 22.4 | 19.6 | 19.8 | 18.3 | 19.6 | 20.74 |
| 22 | | 19.6 | 22.2 | 23 | 20.5 | 20 | 20.4 | 19.6 | 19.8 | 17.9 | 19.4 | 20.24 |
| 23 | | 19.5 | 21.1 | 22.6 | 19.3 | 20 | 20 | 19.5 | 19.7 | 17.3 | 19.1 | 19.81 |
| 24 | | 19.3 | 20.8 | 21.5 | 19.3 | 18.7 | 18.9 | 19 | 19.4 | 17.2 | 18.8 | 19.29 |
| 25 | 0.2893 | 18.4 | 20.5 | 21 | 17.8 | 18.5 | 18.3 | 18.4 | 18.9 | 16.7 | 18.8 | 18.73 |
| 26 | | 18.2 | 20.3 | 19.7 | 16.5 | 18.1 | 18.2 | 17.4 | 17.8 | 16.6 | 18.5 | 18.13 |
| 27 | | 18.1 | 20 | 19.5 | 16.1 | 17.8 | 17.7 | 17 | 17.4 | 16.5 | 18.4 | 17.85 |
| 28 | | 18.1 | 20 | 19.2 | 16 | 17.5 | 17.5 | 16.8 | 17.2 | 16.3 | 18.3 | 17.69 |
| 29 | | 18 | 20 | 19 | 15.9 | 17.5 | 17 | 16.7 | 17 | 16.2 | 17.9 | 17.52 |
| 30 | 0.3472 | 17.3 | 20 | 18.9 | 15.8 | 17.3 | 16.2 | 16.5 | 16.5 | 16.1 | 17.7 | 17.23 |
| 31 | | 16.5 | 20 | 18.9 | 15.7 | 17.3 | 14.8 | 16.5 | 16.4 | 15.5 | 17.2 | 16.88 |
| 32 | | 16.4 | 19.5 | 18.4 | 15.6 | 17.1 | 14.4 | 16.4 | 15.8 | 15.4 | 16.5 | 16.55 |
| 33 | | 16.2 | 19.4 | 18.2 | 14.8 | 17.1 | 14.1 | 16 | 15.7 | 14.8 | 16.3 | 16.26 |
| 34 | | 15.8 | 19 | 18 | 14.7 | 16.5 | 14 | 16 | 15.5 | 14.8 | 16.1 | 16.04 |
| 35 | 0.405 | 15.4 | 19 | 18 | 14.6 | 16.5 | 14 | 15.6 | 15.3 | 14.8 | 16.1 | 15.93 |
| 36 | | 15.3 | 19 | 18 | 14.4 | 16.2 | 13.9 | 14.9 | 14.3 | 14.7 | 15.9 | 15.66 |
| 37 | | 15.3 | 18 | 17.8 | 14.4 | 16.2 | 13.7 | 14.7 | 14.2 | 14.5 | 15.4 | 15.42 |
| 38 | | 14.2 | 17.8 | 17.5 | 14.1 | 16 | 13.6 | 14.5 | 14.2 | 14.1 | 15.2 | 15.12 |
| 39 | | 14 | 17.5 | 17.4 | 14.1 | 15.6 | 13.2 | 14.2 | 13.6 | 14.1 | 15.1 | 14.88 |
| 40 | 0.4629 | 13.8 | 17.5 | 17.3 | 14 | 15.5 | 13.1 | 13.4 | 13.4 | 14 | 15.1 | 14.71 |
| 41 | | 12.5 | 17.3 | 17 | 13.9 | 15.2 | 12.5 | 13.4 | 13.4 | 14 | 14.8 | 14.4 |
| 42 | | 12.3 | 17.1 | 17 | 13.7 | 15.2 | 12.2 | 13.2 | 13 | 13.6 | 14.4 | 14.17 |
| 43 | 0.497 | 12.3 | 17 | 17 | 13.5 | 15.1 | 12.1 | 12.2 | 12.5 | 13.3 | 14.4 | 13.94 |
| 44 | | 12.2 | 16.8 | 16.1 | 13.5 | 14.6 | 11.9 | 21.1 | 12.5 | 13.1 | 14.4 | 14.62 |
| 45 | 0.5298 | 12.1 | 16.8 | 16 | 13.5 | 14.5 | 11.8 | 11.8 | 12.2 | 13 | 14.3 | 13.6 |
| 46 | | 12 | 16.5 | 14.5 | 13.4 | 14.4 | 11.7 | 11.5 | 11.9 | 21.1 | 14.1 | 14.11 |
| 47 | | 12 | 16.3 | 14.2 | 13.4 | 14.3 | 11.5 | 11.3 | 11.8 | 12 | 13.6 | 13.04 |
| 48 | | 11.9 | 16 | 13.5 | 13 | 14 | 11.3 | 11 | 11.7 | 11.9 | 13.6 | 12.79 |
| 49 | | 11.9 | 16 | 13.3 | 12.7 | 13.8 | 11.2 | 10.6 | 11.6 | 11.8 | 13.6 | 12.65 |
| 50 | 0.5787 | 11.5 | 16 | 13.1 | 12.6 | 13.8 | 10.8 | 10.4 | 11.5 | 11.7 | 13.6 | 12.5 |
| 51 | | 11.2 | 15.5 | 13 | 12.5 | 13.8 | 10.7 | 10.2 | 11.3 | 11.2 | 12.8 | 12.22 |
| 52 | | 10.9 | 15 | 12.5 | 12.4 | 13.6 | 10.6 | 9.9 | 11.1 | 11 | 12.5 | 11.95 |
| 53 | | 10.9 | 15 | 12.2 | 11.8 | 13.6 | 10.6 | 9.9 | 10.8 | 10.9 | 12.4 | 11.81 |
| 54 | | 10.8 | 13.8 | 12.2 | 11.7 | 13.5 | 10.4 | 9.8 | 10.8 | 10.7 | 12.2 | 11.59 |
| 55 | 0.6365 | 10.8 | 13.2 | 11.4 | 11.7 | 13.1 | 10.2 | 9.7 | 10.7 | 10.2 | 12 | 11.3 |

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

| COATZACOALCOS VER. | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------|
| No. HRS | % ANUAL | AÑOS | | | | | | | | | | PROM. [mm/hr] |
| | | 1996 | 1995 | 1993 | 1992 | 1991 | 1990 | 1989 | 1988 | 1987 | 1986 | |
| 56 | | 10.6 | 13 | 10.3 | 11.4 | 13 | 10.1 | 9.7 | 10.7 | 10.1 | 12 | 11.09 |
| 57 | | 10.4 | 13 | 10.3 | 10.7 | 12.7 | 10.1 | 9.4 | 10.2 | 9.9 | 11.8 | 10.85 |
| 58 | | 10.4 | 12.8 | 10.2 | 10.4 | 12.4 | 10 | 9.4 | 10.1 | 9.8 | 11.8 | 10.73 |
| 59 | | 10.4 | 12.7 | 10.2 | 10.3 | 12.4 | 10 | 9.4 | 10 | 9.5 | 11.8 | 10.67 |
| 60 | 0.6944 | 10.2 | 12.7 | 10 | 10.2 | 12.3 | 10 | 9.4 | 9.8 | 9.4 | 11.8 | 10.58 |
| 61 | | 10.2 | 12.5 | 10 | 10.2 | 12 | 10 | 9.3 | 9.7 | 9.3 | 11.7 | 10.49 |
| 62 | | 10.2 | 12.2 | 9.9 | 10.1 | 12 | 9.9 | 9.3 | 9.7 | 8.9 | 11.7 | 10.39 |
| 63 | | 10.2 | 12.2 | 9.8 | 9.9 | 11.9 | 9.8 | 9.2 | 9.7 | 8.9 | 11.7 | 10.33 |
| 64 | | 10.1 | 12 | 9.8 | 9.8 | 11.6 | 9.7 | 9.1 | 9.7 | 8.9 | 11.5 | 10.22 |
| 65 | 0.7523 | 10.1 | 12 | 9.8 | 9.6 | 11.5 | 9.6 | 9.1 | 9.6 | 8.8 | 11.4 | 10.15 |
| 66 | | 10.1 | 12 | 9.7 | 9.6 | 11.1 | 9.6 | 9 | 9.5 | 8.7 | 11.3 | 10.06 |
| 67 | | 10.1 | 11.8 | 9.7 | 9.5 | 10.9 | 9.5 | 8.9 | 9.5 | 7.9 | 11.3 | 9.91 |
| 68 | | 10 | 11.7 | 9.6 | 9.3 | 10.8 | 9.4 | 8.9 | 9.4 | 7.8 | 11.3 | 9.82 |
| 69 | | 9.9 | 11.5 | 9.6 | 9.3 | 10.6 | 9.4 | 8.9 | 9.3 | 7.7 | 10.9 | 9.71 |
| 70 | 0.8101 | 9.9 | 11 | 9.4 | 9.2 | 10.4 | 9.3 | 8.8 | 9.1 | 7.5 | 10.5 | 9.51 |
| 71 | | 9.7 | 10.8 | 9 | 9.2 | 10.4 | 9.3 | 8.7 | 9 | 7.3 | 10.5 | 9.39 |
| 72 | | 9.5 | 10.8 | 9 | 8.7 | 10.3 | 9.2 | 8.7 | 9 | 7.2 | 10.4 | 9.28 |
| 73 | | 9.5 | 10.8 | 9 | 8.7 | 10 | 9 | 8.7 | 8.9 | 7 | 10.4 | 9.2 |
| 74 | | 9.2 | 10.5 | 8.9 | 8.6 | 10 | 8.9 | 8.6 | 8.9 | 7 | 10.3 | 9.09 |
| 75 | 0.868 | 9 | 10.5 | 8.8 | 8.6 | 10 | 8.7 | 8.5 | 8.8 | 6.7 | 10.2 | 8.98 |
| 76 | | 9 | 10.5 | 8.6 | 8.5 | 9.7 | 8.6 | 8.4 | 8.8 | 6.7 | 10.1 | 8.89 |
| 77 | | 9 | 10.3 | 8.4 | 8.5 | 9.6 | 8.5 | 8.4 | 8.6 | 6.5 | 10 | 8.78 |
| 78 | | 8.8 | 10 | 8.3 | 8.4 | 9.6 | 8.5 | 8 | 8.5 | 6.5 | 10 | 8.66 |
| 79 | | 8.8 | 10 | 8.2 | 8.4 | 9.5 | 8.4 | 8 | 8.4 | 6.4 | 10 | 8.61 |
| 80 | 0.9259 | 8.4 | 10 | 8.2 | 8.4 | 9.3 | 8.3 | 7.8 | 8.4 | 6.3 | 9.9 | 8.5 |
| 81 | | 8.2 | 10 | 8.2 | 8.1 | 9.3 | 8.3 | 7.4 | 8.4 | 6.2 | 9.7 | 8.38 |
| 82 | | 8.1 | 10 | 8.1 | 8 | 9 | 8.2 | 7.4 | 8.2 | 6.2 | 9.5 | 8.27 |
| 83 | | 8.1 | 9.6 | 8.1 | 7.8 | 8.8 | 7.9 | 7.3 | 8 | 6.1 | 9.4 | 8.11 |
| 84 | | 8 | 9.5 | 8 | 7.5 | 8.8 | 7.8 | 7.2 | 8 | 6 | 9.3 | 8.01 |
| 85 | 0.9837 | 8 | 9.2 | 8 | 7.5 | 8.8 | 7.7 | 7 | 7.9 | 5.9 | 9.3 | 7.93 |
| 86 | 0.9953 | 8 | 9 | 8 | 7.4 | 8.7 | 7.5 | 6.9 | 7.8 | 5.9 | 9.3 | 7.85 |
| 87 | | 8 | 9 | 8 | 7.3 | 8.5 | 7.5 | 6.9 | 7.7 | 5.9 | 9.2 | 7.8 |
| 88 | | 7.9 | 9 | 7.7 | 7.2 | 8.4 | 7.4 | 6.7 | 7.7 | 5.8 | 9.1 | 7.69 |
| 89 | | 7.4 | 9 | 7.7 | 7.2 | 8.2 | 7.3 | 6.6 | 7.6 | 5.7 | 9 | 7.57 |
| 90 | 1.0416 | 7.4 | 8.5 | 7.7 | 7.2 | 8 | 7.3 | 6.2 | 7.6 | 5.7 | 8.8 | 7.44 |
| 100 | 1.1574 | 6.6 | 7.2 | 7.2 | 6.4 | 7.4 | 6.3 | 5.8 | 7.1 | 5.2 | 7.6 | 6.68 |

Tabla 5.1 Precipitaciones acumulativas durante los años 1996-1986 en la Cd. De Coatzacoalcos Ver.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

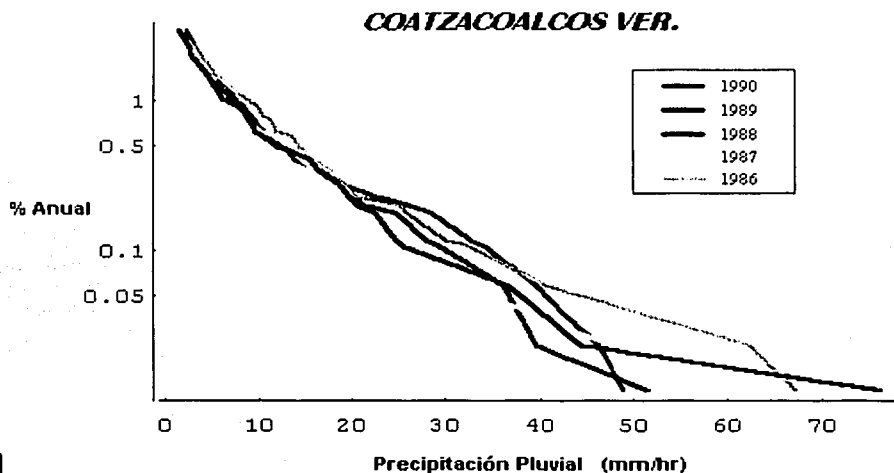


Figura 5.4 Gráfica de precipitación acumulativa para la Cd. de Coatzacoalcos, Ver durante los años 1986 - 1990

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

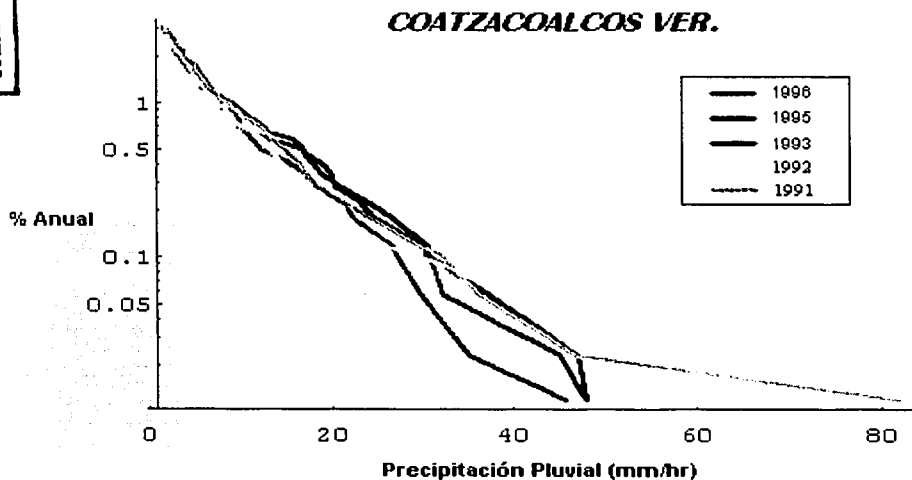


Figura 5.5 Gráfica de precipitación acumulativa para la Cd. de Coatzacoalcos, Ver durante los años 1991-1996

| MEXICO D.F. | | | | | | | | | | | | |
|-------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------------|
| No. HRS | % ANUAL | AÑOS | | | | | | | | | | PROM. [mm/h] |
| | | 1996 | 1995 | 1994 | 1993 | 1992 | 1991 | 1990 | 1989 | 1988 | 1987 | |
| 1 | 0.0115 | 30.2 | 27.1 | 39 | 34.5 | 33.1 | 42.4 | 38.7 | 33.6 | 30 | 24.4 | 33.3 |
| 2 | 0.0231 | 23 | 27 | 27 | 30.9 | 31.3 | 28 | 26.8 | 20.5 | 26.4 | 19.9 | 26.08 |
| 3 | 0.0347 | 21.2 | 25 | 22 | 24.5 | 28.7 | 27.6 | 23 | 19.7 | 16.1 | 15.7 | 22.35 |
| 4 | 0.0462 | 18.8 | 23.6 | 19.6 | 20.4 | 22.5 | 25.5 | 21.1 | 17.6 | 15.1 | 15.5 | 19.97 |
| 5 | 0.0578 | 17.6 | 16.1 | 18.3 | 17 | 22.2 | 25 | 19.2 | 16.8 | 14.7 | 15.2 | 18.21 |
| 6 | 0.069444 | 17.6 | 15.3 | 17.4 | 16.4 | 20 | 24.5 | 17.1 | 13.8 | 14.3 | 14.9 | 17.13 |
| 7 | 0.081018 | 17.1 | 12.3 | 15.4 | 14.7 | 17.4 | 22 | 15.8 | 13.7 | 13.9 | 13.9 | 15.62 |
| 8 | 0.092592 | 16.9 | 12.2 | 15.2 | 14.1 | 16.5 | 18.4 | 15.4 | 11.3 | 13.2 | 13.8 | 14.7 |
| 9 | 0.104166 | 16 | 11.9 | 14.6 | 13.5 | 15.2 | 16.4 | 13 | 11 | 12.9 | 13 | 13.75 |
| 10 | 0.11574 | 14.8 | 11.2 | 13.2 | 12 | 14.4 | 15.8 | 11.5 | 9.4 | 12.9 | 12.5 | 12.77 |
| 11 | 0.127314 | 14.3 | 10.9 | 12.4 | 11.8 | 13.8 | 15.2 | 11.4 | 9.4 | 11.9 | 12.1 | 12.32 |
| 12 | 0.138888 | 14.3 | 10.7 | 11.5 | 11.5 | 13 | 14 | 11.3 | 8.6 | 11.7 | 12 | 11.86 |
| 13 | 0.150462 | 14.1 | 10.2 | 10.7 | 11.2 | 12.8 | 13.2 | 11.2 | 8.3 | 11.6 | 11.6 | 11.49 |
| 14 | 0.162036 | 13.2 | 10 | 10.2 | 10.9 | 12.3 | 12.9 | 11.1 | 8 | 11.3 | 11.1 | 11.1 |
| 15 | 0.17361 | 11.7 | 10 | 10.1 | 10.7 | 12.1 | 12.6 | 11 | 7.9 | 11.1 | 11 | 10.82 |
| 16 | 0.185184 | 11.3 | 10 | 10 | 10.4 | 12 | 12.2 | 10.6 | 7.6 | 10.5 | 10.8 | 10.54 |
| 17 | 0.196758 | 10.5 | 9.1 | 9.2 | 10.1 | 11.4 | 11.9 | 10.4 | 7.5 | 10.1 | 10.5 | 10.07 |
| 18 | 0.208332 | 10.2 | 8.6 | 9 | 9.8 | 11 | 11.8 | 9.4 | 7.1 | 10 | 10.2 | 9.71 |
| 19 | 0.219906 | 8.6 | 8.4 | 8.8 | 9.3 | 10 | 11.3 | 9 | 7 | 9.9 | 10 | 9.23 |
| 20 | 0.23148 | 8 | 8.4 | 8.4 | 9.2 | 9.3 | 11.1 | 8.4 | 6.9 | 9.6 | 10 | 8.93 |
| 21 | 0.243054 | 7.6 | 8.4 | 8.1 | 9.2 | 9.2 | 10.5 | 8.1 | 6.7 | 9.4 | 9.7 | 8.69 |
| 22 | 0.254628 | 7.5 | 8.2 | 7.9 | 8.9 | 9.2 | 10.1 | 7.8 | 6.6 | 8.9 | 9.2 | 8.43 |
| 23 | 0.266202 | 7.3 | 8.2 | 7.7 | 8.6 | 9.1 | 10 | 7.6 | 6.5 | 8.7 | 9.2 | 8.29 |
| 24 | 0.277776 | 6.9 | 8 | 7.6 | 8 | 9.1 | 10 | 7.1 | 6.5 | 8.4 | 7.7 | 7.93 |
| 25 | 0.28935 | 6.8 | 8 | 7.5 | 7.6 | 9.1 | 9.5 | 7 | 6.4 | 8.4 | 7.6 | 7.79 |
| 26 | 0.300924 | 6.6 | 7.8 | 7.3 | 7.5 | 8.8 | 8.9 | 6.7 | 6 | 8 | 7.4 | 7.5 |
| 27 | 0.312498 | 6.3 | 7.7 | 7.1 | 7.4 | 8.8 | 8.5 | 6.4 | 5.7 | 8 | 7.3 | 7.32 |
| 28 | 0.324072 | 6.2 | 7.4 | 7 | 7.1 | 8.8 | 8.3 | 6.2 | 5.5 | 7.8 | 6.8 | 7.11 |
| 29 | 0.335646 | 5.7 | 7.2 | 6.9 | 7.1 | 8.5 | 8.2 | 6.1 | 5.5 | 7.3 | 6.8 | 6.93 |
| 30 | 0.34722 | 5.7 | 7.1 | 6.8 | 7 | 8.3 | 8.1 | 5.9 | 5.4 | 7.1 | 6.6 | 6.8 |
| 31 | 0.358794 | 5.7 | 7.1 | 6.6 | 7 | 8.2 | 8 | 5.7 | 5.2 | 7.1 | 6.5 | 6.71 |
| 32 | 0.370368 | 5.7 | 7.1 | 6 | 6.8 | 8 | 7.8 | 5.7 | 4.9 | 6.9 | 6.5 | 6.54 |
| 33 | 0.381942 | 5.3 | 6.8 | 6 | 6.7 | 7.8 | 7.7 | 5.7 | 4.8 | 6.6 | 6.3 | 6.37 |
| 34 | 0.393516 | 5.2 | 6.4 | 5.9 | 6.6 | 7.6 | 7.6 | 5.7 | 4.7 | 6.6 | 6.3 | 6.26 |
| 35 | 0.40509 | 5 | 6.4 | 5.8 | 6.5 | 7.5 | 7.5 | 5.6 | 4.7 | 6.3 | 6.1 | 6.14 |
| 36 | 0.416664 | 4.8 | 6.3 | 5.7 | 6.5 | 7.4 | 7 | 5.6 | 4.7 | 6.2 | 5.5 | 5.97 |

ANÁLISIS DE LOS DATOS DE PRECIPITACIÓN POR LLUVIA

| MEXICO D.F. | | | | | | | | | | | | |
|-------------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------|
| No. HRS | % ANUAL | AÑOS | | | | | | | | | | PROM. [mm/h] |
| | | 1996 | 1995 | 1994 | 1993 | 1992 | 1991 | 1990 | 1989 | 1988 | 1987 | |
| 37 | 0.428238 | 4.8 | 6.3 | 5.6 | 6.4 | 7.2 | 7 | 5.3 | 4.4 | 6.1 | 5.4 | 5.85 |
| 38 | 0.439812 | 4.8 | 6.3 | 5.5 | 6.3 | 6.4 | 7 | 5.3 | 4.4 | 6 | 5.4 | 5.74 |
| 39 | 0.451386 | 4.7 | 5.9 | 5.2 | 6.3 | 6.3 | 6.9 | 5.2 | 4.4 | 5.8 | 5.3 | 5.6 |
| 40 | 0.46296 | 4.7 | 5.6 | 5.1 | 6.3 | 6.3 | 6.9 | 5.2 | 4.4 | 5.8 | 5.3 | 5.56 |
| 41 | 0.474534 | 4.7 | 5.6 | 5 | 6.2 | 6.2 | 6.9 | 5.1 | 4.3 | 5.7 | 5.2 | 5.49 |
| 42 | 0.486108 | 4.4 | 5.4 | 5 | 6.1 | 6 | 6.7 | 5.1 | 4.2 | 5.4 | 5.2 | 5.35 |
| 43 | 0.497682 | 4.2 | 5.1 | 5 | 5.9 | 6 | 6.7 | 5 | 4.1 | 5.1 | 5.1 | 5.22 |
| 44 | 0.509256 | 4.1 | 4.5 | 4.9 | 5.8 | 6 | 6.5 | 5 | 4 | 5.1 | 5 | 5.09 |
| 45 | 0.52083 | 4 | 4.4 | 4.5 | 5.6 | 6 | 6.4 | 4.7 | 3.9 | 5 | 4.7 | 4.92 |
| 46 | 0.532404 | 4 | 4.4 | 4.5 | 5.4 | 5.9 | 6.2 | 4.7 | 3.9 | 5 | 4.7 | 4.87 |
| 47 | 0.543978 | 3.8 | 4.2 | 4.4 | 5.4 | 5.8 | 6.2 | 4.7 | 3.8 | 5 | 4.7 | 4.8 |
| 48 | 0.555552 | 3.8 | 4 | 4.3 | 5.4 | 5.7 | 6 | 4.7 | 3.8 | 4.9 | 4.6 | 4.72 |
| 49 | 0.567126 | 3.8 | 4 | 4.3 | 5.4 | 5.5 | 5.9 | 4.6 | 3.7 | 4.9 | 4.4 | 4.65 |
| 50 | 0.5787 | 3.7 | 4 | 4.3 | 5.4 | 5.5 | 5.8 | 4.5 | 3.6 | 4.9 | 4.3 | 4.6 |
| 51 | 0.590274 | 3.5 | 4 | 4.2 | 5.2 | 5.4 | 5.8 | 4.5 | 3.5 | 4.7 | 4.3 | 4.51 |
| 52 | 0.601848 | 3.4 | 3.9 | 4.2 | 4.8 | 5.3 | 5.8 | 4.4 | 3.4 | 4.7 | 4.3 | 4.42 |
| 53 | 0.613422 | 3.3 | 3.9 | 4 | 4.8 | 5.3 | 5.7 | 4.3 | 3.3 | 4.6 | 4.1 | 4.33 |
| 54 | 0.624996 | 3.2 | 3.8 | 4 | 4.6 | 5.2 | 5.6 | 4.3 | 3.2 | 4.3 | 4.1 | 4.23 |
| 55 | 0.63657 | 3.2 | 3.6 | 4 | 4.4 | 5.2 | 5.3 | 4.1 | 3 | 4.2 | 4 | 4.1 |
| 56 | 0.648144 | 3.2 | 3.6 | 3.8 | 4.3 | 5.1 | 5.2 | 4.1 | 3 | 4.2 | 3.9 | 4.04 |
| 57 | 0.659718 | 3.2 | 3.6 | 3.8 | 4.3 | 5.1 | 5.1 | 4 | 2.9 | 4.2 | 3.9 | 4.01 |
| 58 | 0.671292 | 3.1 | 3.5 | 3.7 | 4.3 | 5 | 5 | 4 | 2.8 | 4 | 3.9 | 3.93 |
| 59 | 0.682866 | 3.1 | 3.5 | 3.6 | 4.3 | 4.9 | 5 | 4 | 2.8 | 4 | 3.6 | 3.88 |
| 60 | 0.69444 | 3.1 | 3.4 | 3.6 | 4.3 | 4.8 | 5 | 3.9 | 2.8 | 4 | 3.5 | 3.84 |
| 61 | 0.706014 | 3 | 3.4 | 3.5 | 4.3 | 4.6 | 4.9 | 3.8 | 2.7 | 3.9 | 3.5 | 3.76 |
| 62 | 0.717588 | 3 | 3.4 | 3.4 | 4.1 | 4.6 | 4.9 | 3.8 | 2.6 | 3.8 | 3.5 | 3.71 |
| 63 | 0.729162 | 3 | 3.4 | 3.3 | 4.1 | 4.6 | 4.9 | 3.8 | 2.6 | 3.8 | 3.4 | 3.69 |
| 64 | 0.740736 | 2.9 | 3.4 | 3.3 | 4 | 4.5 | 4.8 | 3.6 | 2.6 | 3.7 | 3.4 | 3.62 |
| 65 | 0.75231 | 2.9 | 3.4 | 3.3 | 4 | 4.5 | 4.7 | 3.5 | 2.6 | 3.7 | 3.3 | 3.59 |
| 66 | 0.763884 | 2.9 | 3.4 | 3.2 | 4 | 4.5 | 4.6 | 3.4 | 2.5 | 3.7 | 3.3 | 3.55 |
| 67 | 0.775458 | 2.8 | 3.3 | 3.1 | 3.9 | 4.5 | 4.5 | 3.4 | 2.5 | 3.6 | 3.2 | 3.48 |
| 68 | 0.787032 | 2.8 | 3.3 | 3.1 | 3.9 | 4.4 | 4.4 | 3.4 | 2.5 | 3.4 | 3.1 | 3.43 |
| 69 | 0.798606 | 2.8 | 3.2 | 3 | 3.8 | 4.2 | 4.3 | 3.3 | 2.4 | 3.3 | 3 | 3.33 |
| 70 | 0.81018 | 2.8 | 3.2 | 2.9 | 3.7 | 4.2 | 4.3 | 3.3 | 2.4 | 3.3 | 3 | 3.31 |
| 71 | 0.821754 | 2.8 | 3.2 | 2.9 | 3.7 | 4 | 4.3 | 3.3 | 2.4 | 3.2 | 2.9 | 3.27 |
| 72 | 0.833328 | 2.8 | 3.1 | 2.9 | 3.6 | 4 | 4.2 | 3.2 | 2.4 | 3.1 | 2.9 | 3.22 |
| 73 | 0.844902 | 2.7 | 3.1 | 2.8 | 3.5 | 4 | 4.2 | 3.2 | 2.3 | 3 | 2.8 | 3.16 |

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

| MEXICO D.F. | | | | | | | | | | | | |
|-------------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------|
| No. HRS | % ANUAL | AÑOS | | | | | | | | | | PROM. [mm/h] |
| | | 1996 | 1995 | 1994 | 1993 | 1992 | 1991 | 1990 | 1989 | 1988 | 1987 | |
| 74 | 0.856476 | 2.6 | 3.1 | 2.8 | 3.5 | 4 | 4.1 | 3.2 | 2.3 | 3 | 2.8 | 3.14 |
| 75 | 0.86805 | 2.5 | 3 | 2.6 | 3.5 | 3.9 | 4.1 | 3.2 | 2.2 | 3 | 2.8 | 3.08 |
| 76 | 0.879624 | 2.5 | 2.9 | 2.6 | 3.3 | 3.8 | 3.9 | 3.1 | 2.2 | 3 | 2.7 | 3 |
| 77 | 0.891198 | 2.5 | 2.9 | 2.6 | 3.3 | 3.8 | 3.9 | 3.1 | 2.2 | 2.9 | 2.7 | 2.99 |
| 78 | 0.902772 | 2.4 | 2.9 | 2.6 | 3.2 | 3.8 | 3.8 | 3.1 | 2.2 | 2.9 | 2.7 | 2.96 |
| 79 | 0.914346 | 2.4 | 2.9 | 2.5 | 3.2 | 3.7 | 3.8 | 3 | 2.1 | 2.8 | 2.7 | 2.91 |
| 80 | 0.92592 | 2.4 | 2.8 | 2.5 | 3.1 | 3.5 | 3.8 | 3 | 2.1 | 2.8 | 2.7 | 2.87 |
| 81 | 0.937494 | 2.4 | 2.8 | 2.5 | 3.1 | 3.5 | 3.8 | 2.9 | 2.1 | 2.7 | 2.7 | 2.85 |
| 82 | 0.949068 | 2.3 | 2.8 | 2.5 | 3.1 | 3.5 | 3.8 | 2.9 | 2 | 2.7 | 2.6 | 2.82 |
| 83 | 0.960642 | 2.3 | 2.7 | 2.4 | 3 | 3.5 | 3.7 | 2.8 | 2 | 2.7 | 2.6 | 2.77 |
| 84 | 0.972216 | 2.3 | 2.7 | 2.4 | 3 | 3.4 | 3.6 | 2.7 | 2 | 2.6 | 2.6 | 2.73 |
| 85 | 0.98379 | 2.3 | 2.7 | 2.4 | 3 | 3.4 | 3.6 | 2.7 | 2 | 2.5 | 2.5 | 2.71 |
| 86 | 0.995364 | 2.3 | 2.7 | 2.3 | 2.8 | 3.4 | 3.5 | 2.7 | 2 | 2.5 | 2.5 | 2.67 |
| 87 | 1.006938 | 2.3 | 2.6 | 2.3 | 2.8 | 3.4 | 3.4 | 2.7 | 1.9 | 2.5 | 2.4 | 2.63 |
| 88 | 1.018512 | 2.3 | 2.6 | 2.3 | 2.7 | 3.3 | 3.4 | 2.7 | 1.9 | 2.5 | 2.4 | 2.61 |
| 89 | 1.030086 | 2.3 | 2.6 | 2.3 | 2.7 | 3.2 | 3.4 | 2.7 | 1.9 | 2.5 | 2.4 | 2.6 |
| 90 | 1.04166 | 2.3 | 2.6 | 2.3 | 2.7 | 3.1 | 3.4 | 2.6 | 1.8 | 2.4 | 2.3 | 2.55 |
| 100 | 1.1574 | 1 | 2.4 | 2.1 | 2 | 2.8 | 3.3 | 2.2 | 1.7 | 2.2 | 2.1 | 2.18 |

Tabla 5.2 Precipitaciones acumuladas durante los años 1987-1996 en la Cd. de México D.F.

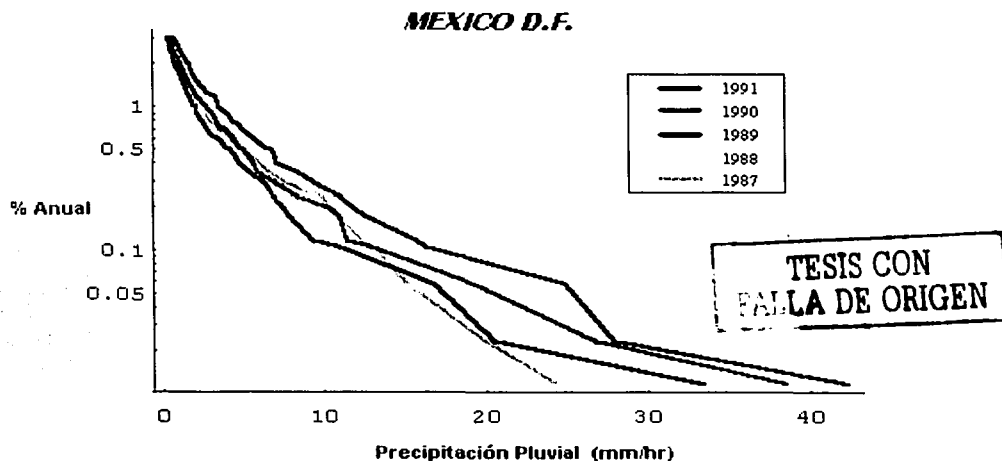


Figura 5.6 Gráfica de precipitación acumulativa en la Cd. de México D.F. durante los años 1987-1991

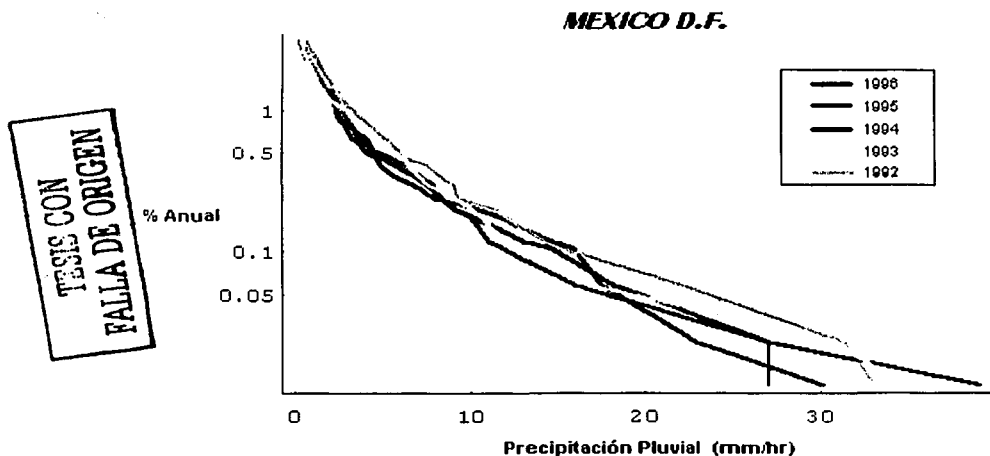


Figura 5.7 Gráfica de precipitación acumulativa en la cd. de México D.F. durante los años 1992-1996

| HERMOSILLO SON. | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------|
| No. HRS | % ANUAL | AÑOS | | | | | | | | | | PROM. [mm/h] |
| | | 1996 | 1995 | 1994 | 1993 | 1992 | 1987 | 1986 | 1985 | 1984 | 1983 | |
| 1 | 0.0115 | 50.5 | 30.4 | 23 | 34.7 | 27.2 | 30.3 | 58.5 | 36.8 | 45.8 | 37.1 | 37.43 |
| 2 | 0.0231 | 35.5 | 29.3 | 17.6 | 23 | 22 | 21.1 | 47.5 | 35.1 | 44.9 | 19.2 | 29.52 |
| 3 | 0.0347 | 19.4 | 20.5 | 15.6 | 22 | 20.3 | 13.6 | 45.5 | 35 | 20.1 | 18.4 | 23.04 |
| 4 | 0.0462 | 17.5 | 20.2 | 14.5 | 20.5 | 20 | 8.9 | 40.2 | 31.5 | 19.8 | 17.3 | 21.04 |
| 5 | 0.0578 | 10.5 | 16.5 | 13.5 | 13.5 | 20 | 5.8 | 36 | 14.5 | 19.7 | 16.5 | 16.65 |
| 6 | 0.0694 | 8.4 | 11.6 | 13.2 | 12.6 | 17.8 | 5.2 | 35.8 | 11.7 | 15.5 | 16.1 | 14.79 |
| 7 | 0.0810 | 6.6 | 10 | 13.2 | 11.6 | 16.5 | 4.3 | 30.2 | 10.8 | 15.2 | 14.1 | 13.25 |
| 8 | 0.0925 | 4.3 | 7.8 | 12.2 | 10.5 | 15.5 | 3.8 | 12.4 | 9.9 | 12.9 | 11.5 | 10.08 |
| 9 | 0.1041 | 4 | 7.3 | 12.1 | 10.5 | 10.2 | 3.8 | 11.7 | 8.6 | 12.8 | 10 | 9.1 |
| 10 | 0.115 | 3.2 | 6.3 | 11 | 10 | 10 | 3.7 | 9.4 | 8.3 | 12.3 | 9.7 | 8.39 |
| 11 | 0.1273 | 3.2 | 6 | 11 | 6.6 | 10 | 3.3 | 8.4 | 8 | 11.9 | 9.5 | 7.79 |
| 12 | 0.1388 | 3.2 | 5.7 | 10.1 | 5.8 | 9.2 | 3.3 | 6.7 | 8 | 10.8 | 9.5 | 7.23 |
| 13 | 0.1504 | 2.8 | 5 | 9.9 | 5.5 | 9.1 | 3.1 | 6.5 | 7.6 | 9.5 | 9.5 | 6.85 |
| 14 | 0.1620 | 2.4 | 4.9 | 9.7 | 5.2 | 8.6 | 2.6 | 5.4 | 7.2 | 8.8 | 9.2 | 6.4 |
| 15 | 0.1736 | 2.4 | 4.6 | 8.1 | 4.6 | 7.6 | 2.5 | 4.4 | 6.8 | 8.2 | 8.8 | 5.8 |
| 16 | 0.1851 | 2.3 | 4.5 | 8 | 4.2 | 7.5 | 2.4 | 4.1 | 6.8 | 8.2 | 8.3 | 5.63 |
| 17 | 0.1967 | 1.9 | 4.3 | 7.9 | 4 | 7.5 | 2.3 | 4.1 | 6.1 | 8 | 8 | 5.41 |
| 18 | 0.2083 | 1.8 | 3.8 | 7.8 | 3.9 | 7.5 | 2.1 | 4 | 6 | 7.4 | 8 | 5.23 |
| 19 | 0.2199 | 1.4 | 3.7 | 6.7 | 3.5 | 7.4 | 2 | 3.9 | 5.6 | 7 | 7.2 | 4.84 |
| 20 | 0.23148 | 1.1 | 3.4 | 6.3 | 3.4 | 6.9 | 1.9 | 3.2 | 5.4 | 6.4 | 7 | 4.5 |

| HERMOSILLO SON. | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------------|
| No. HRS | % ANUAL | AÑOS | | | | | | | | | | PROM. [mm/h] |
| | | 1996 | 1995 | 1994 | 1993 | 1992 | 1987 | 1986 | 1985 | 1984 | 1983 | |
| 21 | 0.2430 | 1.1 | 3.4 | 5.8 | 3.1 | 6.7 | 1.9 | 3 | 5.3 | 6.3 | 6.9 | 4.35 |
| 22 | 0.2546 | 1 | 3.3 | 5.5 | 3 | 6.1 | 1.9 | 3 | 5.1 | 6 | 6.4 | 4.13 |
| 23 | 0.2662 | 0.9 | 3.2 | 5.3 | 2.9 | 5.8 | 1.8 | 3 | 5 | 5.7 | 6.1 | 3.97 |
| 24 | 0.2777 | 0.8 | 2.7 | 5.1 | 2.8 | 5.6 | 1.7 | 2.8 | 4.8 | 5.5 | 5.7 | 3.75 |
| 25 | 0.289 | 0.8 | 2.7 | 5 | 2.7 | 5.5 | 1.6 | 2.6 | 4.2 | 5.5 | 5.6 | 3.62 |
| 26 | 0.3009 | 0.7 | 2.6 | 4.8 | 2.7 | 5.5 | 1.6 | 2.6 | 4.1 | 5.5 | 5.6 | 3.57 |
| 27 | 0.3124 | 0.7 | 2.3 | 4.8 | 2.6 | 5 | 1.5 | 2.5 | 4.1 | 5.5 | 5.4 | 3.44 |
| 28 | 0.3240 | 0.7 | 2.2 | 4.5 | 2.5 | 5 | 1.4 | 2.3 | 4 | 5.1 | 5.4 | 3.31 |
| 29 | 0.3356 | 0.7 | 2.1 | 4.3 | 2.5 | 4.6 | 1.4 | 2.3 | 3.2 | 5.1 | 4.9 | 3.11 |
| 30 | 0.347 | 0.6 | 2 | 4.3 | 2.5 | 4.4 | 1.4 | 2.1 | 2.8 | 4.9 | 4.5 | 2.95 |
| 31 | 0.3587 | 0.5 | 1.8 | 4.3 | 2.5 | 4.4 | 1.4 | 2.1 | 2.8 | 4.8 | 4.5 | 2.91 |
| 32 | 0.3703 | 0.5 | 1.7 | 4.3 | 2.4 | 4.1 | 1.3 | 2 | 2.7 | 4.8 | 4.4 | 2.82 |
| 33 | 0.3819 | 0.5 | 1.7 | 4.2 | 2.4 | 4 | 1.3 | 2 | 2.6 | 4.7 | 4.3 | 2.77 |
| 34 | 0.3935 | 0.5 | 1.5 | 4.1 | 2.4 | 3.8 | 1.3 | 2 | 2.6 | 4.4 | 4.1 | 2.67 |
| 35 | 0.405 | 0.5 | 1.5 | 4 | 2.4 | 3.7 | 1.2 | 1.9 | 2.4 | 4.4 | 3.9 | 2.59 |
| 36 | 0.4166 | 0.4 | 1.4 | 3.6 | 2.4 | 3.5 | 1.2 | 1.8 | 2.1 | 4.3 | 3.8 | 2.45 |
| 37 | 0.4282 | 0.4 | 1.4 | 3.5 | 2.3 | 3.5 | 1.2 | 1.7 | 2.1 | 4.3 | 3.8 | 2.42 |
| 38 | 0.4398 | 0.4 | 1.4 | 3.5 | 2.2 | 3.5 | 1.1 | 1.7 | 1.9 | 4.2 | 3.6 | 2.35 |
| 39 | 0.4513 | 0.4 | 1.4 | 3.3 | 2.2 | 3.5 | 1.1 | 1.7 | 1.9 | 4.1 | 3.5 | 2.31 |
| 40 | 0.462 | 0.3 | 1.4 | 3.3 | 2.2 | 3 | 1.1 | 1.6 | 1.8 | 4.1 | 3.3 | 2.21 |
| 41 | 0.4745 | 0.3 | 1.3 | 3.2 | 2.1 | 2.6 | 1 | 1.6 | 1.8 | 4 | 3.2 | 2.11 |
| 42 | 0.4861 | 0.2 | 1.2 | 3.2 | 2 | 2.6 | 1 | 1.5 | 1.7 | 4 | 3.2 | 2.06 |
| 43 | 0.4976 | 0.2 | 1.2 | 3 | 2 | 2.4 | 0.9 | 1.5 | 1.7 | 3.8 | 3.1 | 1.98 |
| 44 | 0.5092 | 0.2 | 1.2 | 3 | 1.9 | 2.3 | 0.9 | 1.4 | 1.7 | 3.7 | 3 | 1.93 |
| 45 | 0.5208 | 0.2 | 1.2 | 2.9 | 1.9 | 2.3 | 0.9 | 1.4 | 1.7 | 3.5 | 2.9 | 1.89 |
| 46 | 0.5324 | 0.2 | 1.2 | 2.7 | 1.8 | 2.3 | 0.9 | 1.4 | 1.6 | 3.4 | 2.9 | 1.84 |
| 47 | 0.5439 | 0.2 | 1.1 | 2.6 | 1.8 | 2.2 | 0.9 | 1.4 | 1.6 | 3.3 | 2.9 | 1.8 |
| 48 | 0.5555 | 0.2 | 1 | 2.6 | 1.7 | 2.2 | 0.9 | 1.3 | 1.5 | 3.2 | 2.8 | 1.74 |
| 49 | 0.5671 | 0.2 | 1 | 2.6 | 1.7 | 2 | 0.9 | 1.2 | 1.5 | 3.1 | 2.7 | 1.69 |
| 50 | 0.5787 | 0.2 | 1 | 2.3 | 1.6 | 1.8 | 0.9 | 1.2 | 1.5 | 3 | 2.7 | 1.62 |
| 51 | 0.5902 | 0.2 | 0.9 | 2.2 | 1.6 | 1.8 | 0.8 | 1.2 | 1.5 | 3 | 2.7 | 1.59 |
| 52 | 0.6018 | 0.1 | 0.9 | 2.2 | 1.6 | 1.8 | 0.7 | 1.1 | 1.4 | 3 | 2.6 | 1.54 |
| 53 | 0.6134 | 0.1 | 0.9 | 2.2 | 1.5 | 1.7 | 0.7 | 1.1 | 1.4 | 2.9 | 2.6 | 1.51 |
| 54 | 0.6249 | 0.1 | 0.9 | 2 | 1.5 | 1.7 | 0.7 | 1.1 | 1.4 | 2.8 | 2.5 | 1.47 |
| 55 | 0.6365 | 0.1 | 0.9 | 2 | 1.4 | 1.7 | 0.7 | 1.1 | 1.3 | 2.7 | 2.3 | 1.42 |
| 56 | 0.6481 | | 0.9 | 1.9 | 1.4 | 1.6 | 0.6 | 1 | 1.3 | 2.7 | 2.2 | 1.5111 |
| 57 | 0.6597 | | 0.9 | 1.9 | 1.4 | 1.5 | 0.6 | 1 | 1.2 | 2.6 | 2.2 | 1.4778 |
| 58 | 0.6712 | | 0.7 | 1.7 | 1.4 | 1.5 | 0.5 | 1 | 1.2 | 2.6 | 2.2 | 1.4222 |
| 59 | 0.6828 | | 0.7 | 1.5 | 1.3 | 1.5 | 0.5 | 1 | 1.1 | 2.4 | 2.2 | 1.3556 |
| 60 | 0.694 | | 0.7 | 1.5 | 1.3 | 1.5 | 0.5 | 0.9 | 1.1 | 2.4 | 2.2 | 1.3444 |

ANÁLISIS DE LOS DATOS DE PRECIPITACIÓN POR LLUVIA

| HERMOSILLO SON. | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------|
| No. HRS | % ANUAL | AÑOS | | | | | | | | | | PROM. [mm/h] |
| | | 1996 | 1995 | 1994 | 1993 | 1992 | 1987 | 1986 | 1985 | 1984 | 1983 | |
| 61 | 0.706014 | | 0.7 | 1.5 | 1.3 | 1.4 | 0.5 | 0.9 | 1 | 2.3 | 2.1 | 1.3 |
| 62 | 0.717588 | | 0.7 | 1.5 | 1.3 | 1.4 | 0.5 | 0.9 | 1 | 2.3 | 2 | 1.2889 |
| 63 | 0.729162 | | 0.6 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 0.5 | 0.9 | 1 | 2.1 | 2 | 1.2222 |
| 64 | 0.740736 | | 0.6 | 1.3 | 1.2 | 1.3 | 0.5 | 0.9 | 1 | 2.1 | 1.9 | 1.2 |
| 65 | 0.75231 | | 0.6 | 1.2 | 1.2 | 1.3 | 0.5 | 0.9 | 1 | 1.9 | 1.9 | 1.1667 |
| 66 | 0.763884 | | 0.6 | 1.1 | 1.2 | 1.2 | 0.4 | 0.9 | 1 | 1.9 | 1.8 | 1.1222 |
| 67 | 0.775458 | | 0.6 | 1.1 | 1.2 | 1.2 | 0.4 | 0.9 | 1 | 1.9 | 1.8 | 1.1222 |
| 68 | 0.787032 | | 0.5 | 1 | 1.2 | 1.1 | 0.4 | 0.8 | 1 | 1.9 | 1.8 | 1.0778 |
| 69 | 0.798606 | | 0.4 | 1 | 1.2 | 1.1 | 0.3 | 0.8 | 0.9 | 1.8 | 1.8 | 1.0333 |
| 70 | 0.81018 | | 0.4 | 0.9 | 1 | 1.1 | 0.3 | 0.8 | 0.9 | 1.8 | 1.7 | 0.9889 |
| 71 | 0.821754 | | 0.4 | 0.9 | 1 | 1.1 | 0.3 | 0.8 | 0.9 | 1.8 | 1.7 | 0.9889 |
| 72 | 0.833328 | | 0.4 | 0.9 | 1 | 1.1 | 0.3 | 0.7 | 0.9 | 1.8 | 1.7 | 0.9778 |
| 73 | 0.844902 | | 0.4 | 0.9 | 1 | 1.1 | 0.3 | 0.7 | 0.9 | 1.7 | 1.7 | 0.9667 |
| 74 | 0.856476 | | 0.4 | 0.8 | 0.9 | 1 | 0.3 | 0.7 | 0.8 | 1.7 | 1.7 | 0.9222 |
| 75 | 0.86805 | | 0.4 | 0.8 | 0.9 | 1 | 0.3 | 0.7 | 0.8 | 1.6 | 1.7 | 0.9111 |
| 76 | 0.879624 | | 0.3 | 0.8 | 0.9 | 1 | 0.3 | 0.7 | 0.7 | 1.6 | 1.6 | 0.8778 |
| 77 | 0.891198 | | 0.3 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 0.3 | 0.7 | 0.7 | 1.6 | 1.5 | 0.8556 |
| 78 | 0.902772 | | 0.3 | 0.8 | 0.8 | 0.9 | 0.3 | 0.7 | 0.7 | 1.5 | 1.5 | 0.8333 |
| 79 | 0.914346 | | 0.3 | 0.8 | 0.8 | 0.9 | 0.2 | 0.7 | 0.7 | 1.5 | 1.5 | 0.8222 |
| 80 | 0.92592 | | 0.3 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.2 | 0.7 | 0.7 | 1.5 | 1.4 | 0.8 |
| 81 | 0.937494 | | 0.2 | 0.7 | 0.8 | 0.8 | 0.2 | 0.7 | 0.6 | 1.5 | 1.3 | 0.7556 |
| 82 | 0.949068 | | 0.2 | 0.7 | 0.8 | 0.8 | 0.2 | 0.6 | 0.6 | 1.5 | 1.3 | 0.7444 |
| 83 | 0.960642 | | 0.2 | 0.7 | 0.8 | 0.8 | 0.2 | 0.6 | 0.6 | 1.4 | 1.3 | 0.7333 |
| 84 | 0.972216 | | 0.2 | 0.7 | 0.7 | 0.8 | 0.2 | 0.6 | 0.6 | 1.4 | 1.3 | 0.7222 |
| 85 | 0.98379 | | 0.2 | 0.7 | 0.7 | 0.8 | 0.2 | 0.6 | 0.6 | 1.4 | 1.3 | 0.7222 |
| 86 | 0.995364 | | 0.2 | 0.7 | 0.7 | 0.8 | 0.2 | 0.5 | 0.5 | 1.4 | 1.3 | 0.7 |
| 87 | 1.006938 | | 0.2 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.2 | 0.5 | 0.5 | 1.4 | 1.3 | 0.6889 |
| 88 | 1.018512 | | 0.2 | 0.6 | 0.6 | 0.7 | 0.2 | 0.5 | 0.5 | 1.4 | 1.2 | 0.6556 |
| 89 | 1.030086 | | 0.2 | 0.6 | 0.6 | 0.7 | 0.2 | 0.5 | 0.5 | 1.3 | 1.2 | 0.6444 |
| 90 | 1.04166 | | 0.2 | 0.6 | 0.6 | 0.7 | 0.1 | 0.5 | 0.5 | 1.3 | 1.2 | 0.6333 |
| 100 | 1.1574 | | 0.1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.1 | 0.4 | 0.4 | 1.1 | 1.1 | 0.5222 |

Tabla 5.3 Precipitaciones acumulativas durante los años 1983-87 y 1992-96 en la Cd. de Hermosillo, Son.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

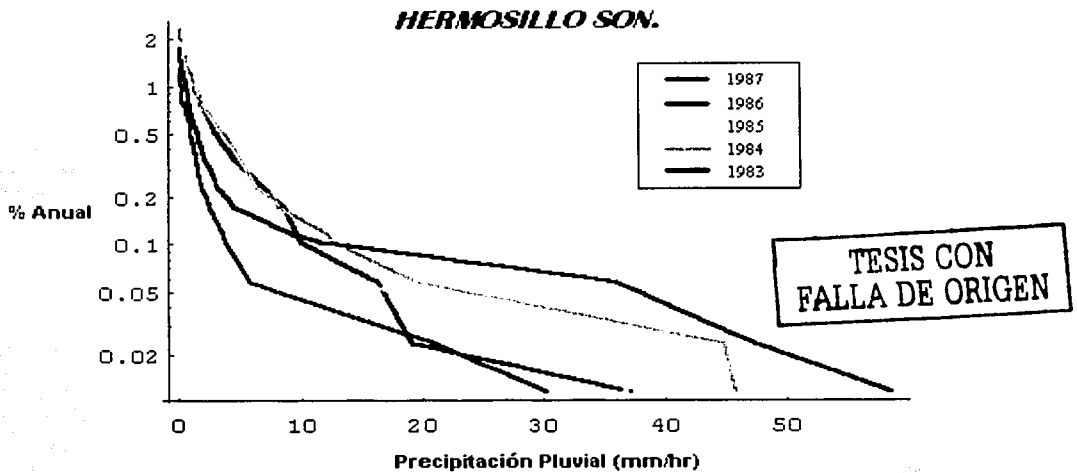


Figura 5.8 Gráfica de precipitación acumulativa en la Cd. de Hermosillo, Son. durante los años 1983-1987

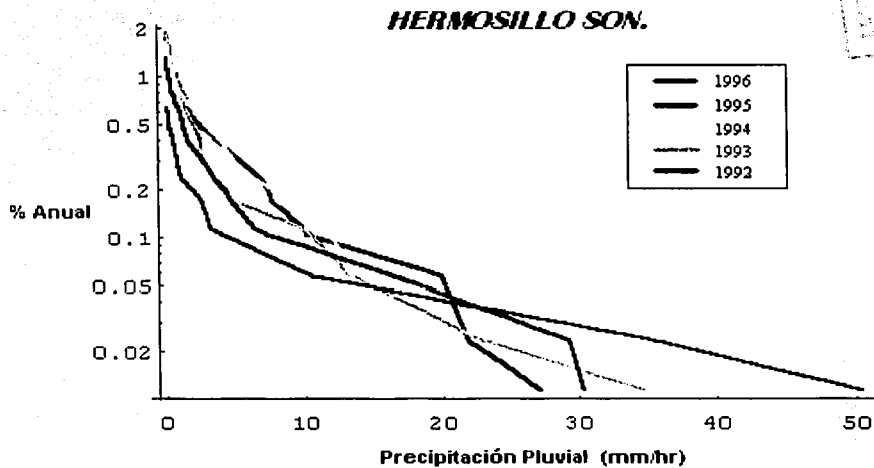


Figura 5.9 Gráfica de precipitación acumulativa en la Cd. de Hermosillo, Son. durante los años 1992-1996

5.1.2.1 Modelos de precipitación resultantes

Los datos que obtuvimos representan los modelos de precipitación de cada una de las localidades analizadas, se obtuvo la media del período de 10 años para las mismas. Las modelos en forma de estadísticas de razón de lluvia acumulativa se muestran en las figuras 5.10, 5.11 y 5.12, a estos los llamaremos modelos estadísticos.

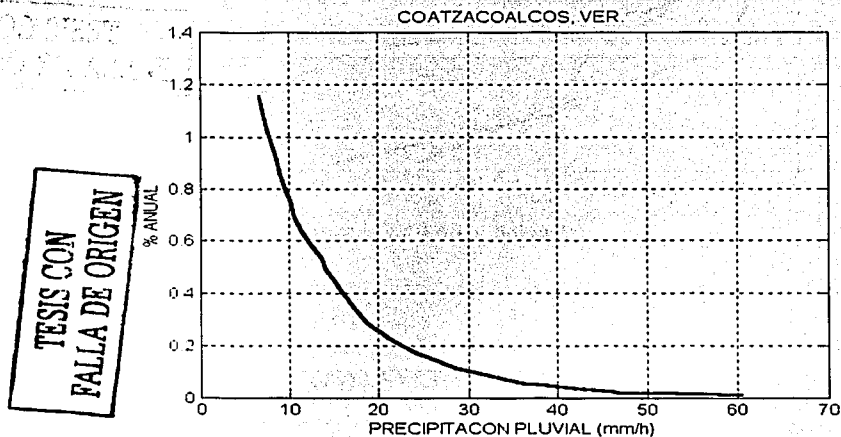


Figura 5.10 Modelo de precipitación para Coatzacoalcos, Ver.

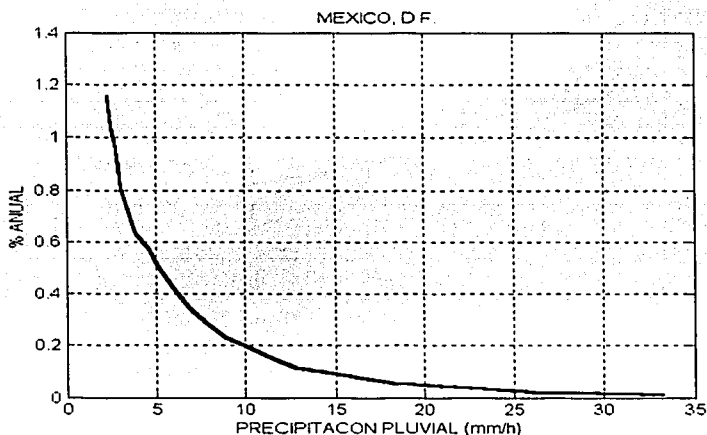
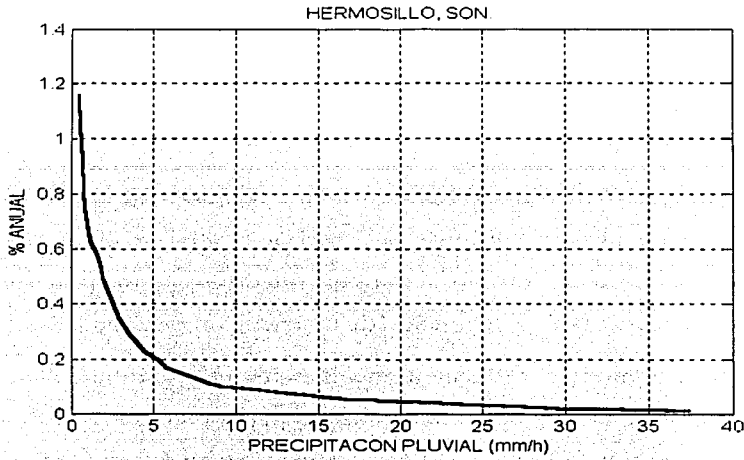


Figura 5.11 Modelo de Precipitación para México D.F.



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Figura 5.12 Modelo de precipitación para Hermosillo, Son.

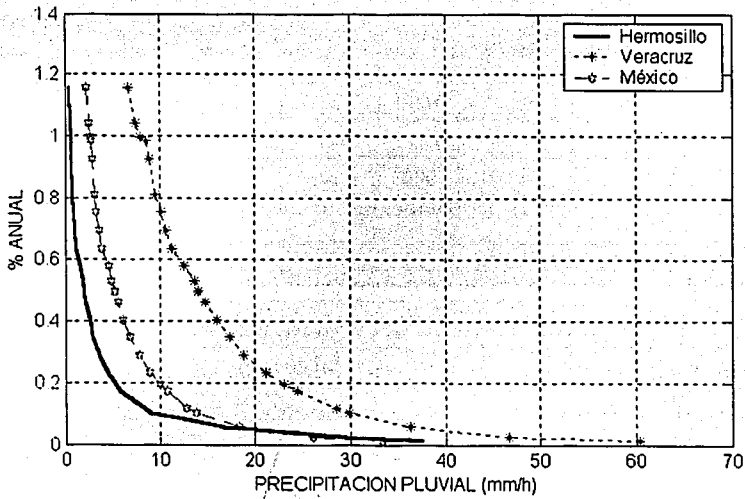


Figura 5.13 Modelo de precipitación para las tres ciudades

5.1.3 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LOS DISTINTOS MODELOS

Con el objetivo de conocer el comportamiento de los diferentes modelos de precipitación se presenta a continuación la comparación de los mismos en forma gráfica.

El formato gráfico de estadísticas acumulativas presentado muestra los parámetros razón de lluvia en la abscisa y el porcentaje total de tiempo en la ordenada. Usualmente el porcentaje de tiempo de excedencia es interpretado como una probabilidad y la curva de excedencia estadística como la función de distribución de probabilidad acumulativa.

Para aplicar el modelo de Rice-Holmberg se emplea el desarrollo presentado en el capítulo 4 sección 4.2, el cual hace uso de mapas para obtener los parámetros necesarios para hacer la predicción, los cuales son la precipitación anual promedio M , y la razón de tormentas β (ver figuras 4.2 y 4.3), se obtienen los resultados presentados en la tabla 5.4.

| Nombre del sitio | Ubicación | | Parámetros Rice-Holmberg | | Precipitación en mm/h y su porcentaje anual | | | |
|--------------------|-----------|----------|--------------------------|---------|---|-------|--------|---------|
| | Latitud | Longitud | M | β | 1 % | 0.1 % | 0.01 % | 0.001 % |
| México D.F. | 19.9 | 99.1 | 1000 | 0.5 | 3 | 25 | 100 | 180 |
| Coatzacoalcos Ver. | 18.1 | 94.4 | 2000 | 0.7 | 5 | 51 | 126 | 203 |
| Hermosillo Son. | 29.1 | 110.9 | 500 | 0.1 | 1 | 10 | 23 | 90 |

Tabla 5.4 Resultados para las localidades estudiadas empleando el modelo Rice-Holmberg

La figura 5.14 muestra la comparación para la Cd. de Coatzacoalcos Ver., en donde el modelo que más se aproxima al modelo estadístico es el propuesto por la UIT-R con un error de 4.72%, mientras que los modelos Global-Crane y el de Rice-Holmberg tienen un error del 5.67% y 30.25% respectivamente.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

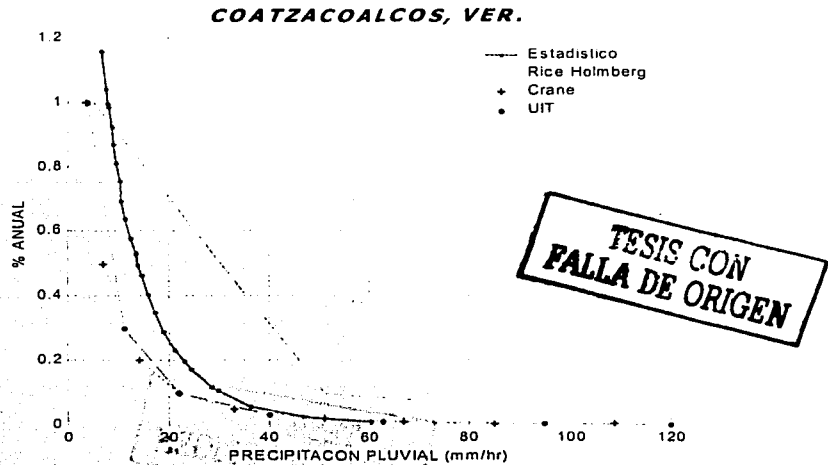


Figura 5.14 Comparación del modelo resultante con los propuestos para la Cd. de Coatzacoalcos Ver.

La figura 5.15 muestra la comparación para la Cd. de México D.F., en donde el modelo que más se aproxima al estadístico es, una vez más, el propuesto por Global-Crane con error del 1%, mientras que los modelos Rice- Holmberg y el de UIT-R tienen un error del 2.4% y 2% respectivamente.

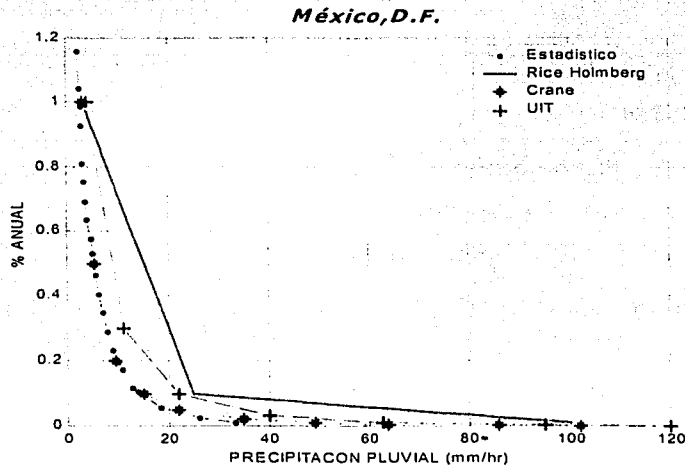


Figura 5.15 Comparación del modelo resultante con los propuestos para la Cd. de México D.F.

Como se observa en la figura 5.16, a diferencia de las dos localidades anteriores, en la Cd. de Hermosillo, Son. el modelo que más se aproxima al obtenido estadísticamente es el propuesto por UIT-R con un error del 3.94%, mientras que los modelos Rice-Holmberg y el Gobal-Crane tienen un error del 4.09% y 4.43% respectivamente.

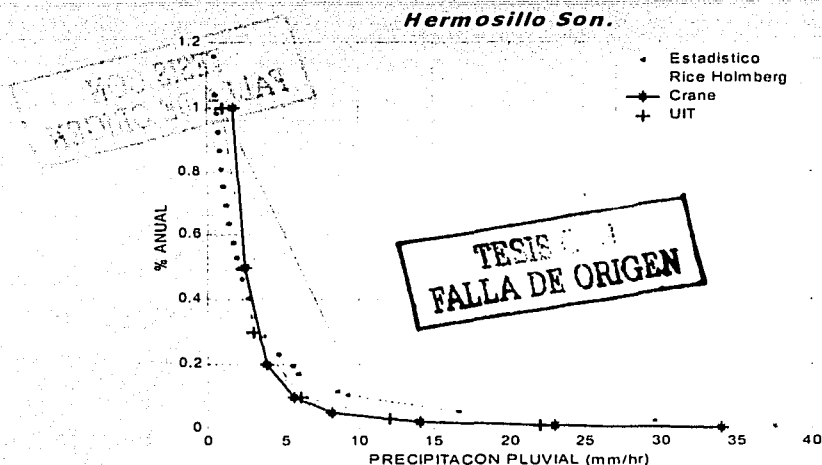


Figura 5.16 Comparación del modelo resultante con los propuestos para la Cd. de Hermosillo Son.

5.2 APLICACIÓN EN LOS MODELOS DE PREDICCIÓN DE ATENUACIÓN

Una vez hecha la comparación de los modelos de precipitación pluvial con datos propios de las localidades, el siguiente paso es la aplicación de los mismos, utilizando para ello los programas de cómputo correspondientes.

Un modelo de predicción de atenuación por lluvia sigue un procedimiento para predecir el tiempo en que un enlace estará fuera de servicio debido a la atenuación por lluvia excesiva. El formato de las predicciones de los modelos se presenta en forma de estadísticas de excedencia acumulativas. Las estadísticas de excedencia acumulativas por si solas no dan información acerca de la frecuencia y duración de períodos de

excedencia, sólo dan el tiempo total; sin embargo, la naturaleza de la atenuación por lluvia es tal que los períodos de excedencia son del orden de minutos.

Es de gran interés manifestar el comportamiento de varios de los modelos de predicción de atenuación por lluvia tanto con los modelos de precipitación ya propuestos, como con los modelos de precipitación desarrollados en el capítulo 4. Una vez presentado el comportamiento existirá una base para validar el más adecuado, teniendo en mente que el modelo más apropiado es usando los datos climatológicos locales.

5.2.1 DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN DE LOS MODELOS DE PREDICCIÓN EN LOS MODELOS DE ATENUACIÓN

Para lograr nuestro propósito se usó un programa desarrollado en lenguaje C, cuyo algoritmo se encuentra en el capítulo anterior, para los modelos de predicción de atenuación por lluvia de Global-Crane y, el UIT-R.

Se propuso un enlace satelital en banda Ku en polarización horizontal, empleando el satélite SATMEX 6 que estará ubicado en la posición orbital de 109.2° W, haciendo uso de los parámetros presentados en la tabla 5.5. La obtención de los parámetros se encuentra en el anexo B para todas las localidades del país.

| PARÁMETROS | COATZACOALCOS VER. | MEXICO D.F. | HERMOSILLO SON. |
|---------------------------|--------------------|-------------|-----------------|
| Longitud | 94.26° | 99.8° | 110.58° |
| Latitud | 18.9° | 19.2° | 29.7° |
| Altitud | 0.012 km | 2.2 km | 0.210 km |
| Frecuencia | 12.2GHz | 12.2GHz | 12.2GHz |
| Ángulo de elevación | 62.79° | 64.65° | 55.97° |
| Precipitación anual media | 2800 mm | 790 mm | 300 mm |

Tabla 5.5 Parámetros del enlace satelital propuesto

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Para los modelos UIT-R y Global-Crane se usó la tabla 3.3 para obtener los parámetros dependientes de la frecuencia y polarización de interés, además de los datos de precipitación mostrados de las figuras 5.13 a 5.15.

En las figuras 5.17 y 5.18 se presentan los resultados para la Cd. de México D.F., empleando los modelos de predicción de atenuación por lluvia Global-Crane e UIT-R respectivamente, y haciendo uso de varios modelos de precipitación pluvial. Se presenta también la figura 5.19 como un resumen de ambas figuras.

Atenuación por lluvia para México D.F. con el modelo global-crane

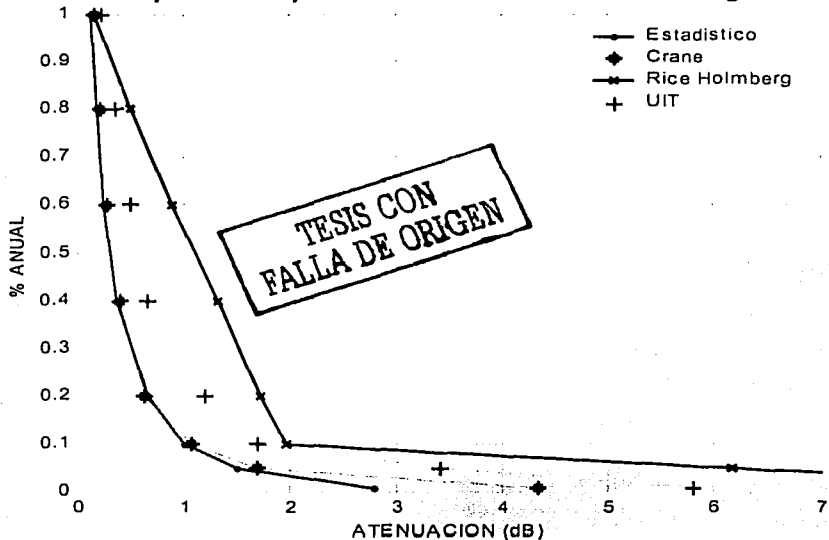


Figura 5.17 Atenuación por lluvia para México D.F. con el modelo Global-Crane

Como se observa, si hacemos uso del modelo de predicción de atenuación por lluvia Global-Crane en su región D (ver figura 4.4), el modelo de precipitación que da valores más próximos a los obtenidos con el modelo de precipitación desarrollado, es el modelo de precipitación Global-Crane, mostrando una diferencia máxima de 1.526 dB y una diferencia mínima de 0.021 dB.

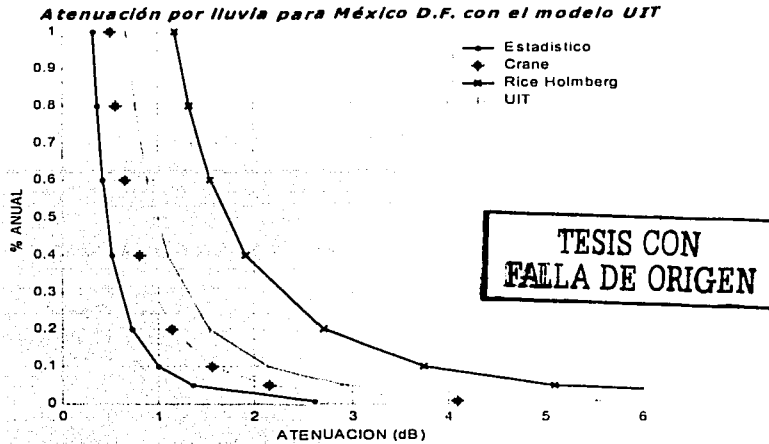


Figura 5.18 Atenuación por lluvia para México D.F. con el modelo UIT-R

De la figura anterior, si hacemos uso del modelo de predicción de atenuación por lluvia UIT-R en su región M (ver figura 3.6), el modelo más aproximado a los valores obtenidos con el modelo de precipitación desarrollado es el modelo de precipitación Global-Crane, mostrando una diferencia máxima de 1.526 dB, y una diferencia mínima de 0.021dB.

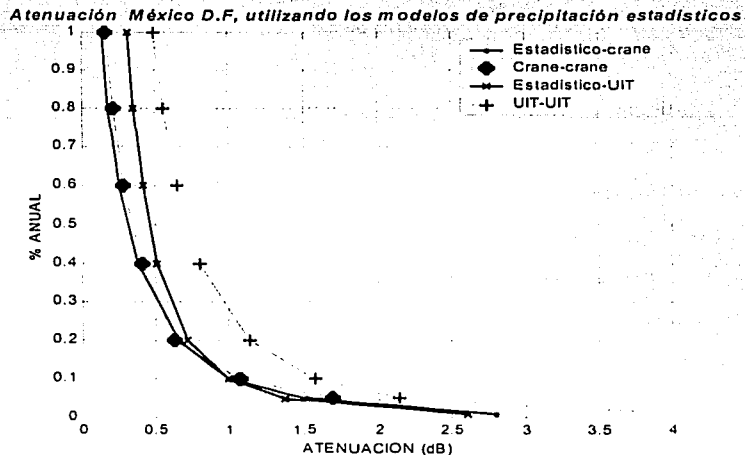


Figura 5.19 Atenuación por lluvia para México D.F. con todos los modelos estudiados

En las figuras 5.20 y 5.21 se presenta el comportamiento para Coatzacoalcos Ver., empleando los modelos de predicción de atenuación por lluvia Global-Crane e UIT-R respectivamente, y haciendo uso de varios modelos de precipitación pluvial. Se presenta también la figura 5.22 como un resumen de ambas figuras.

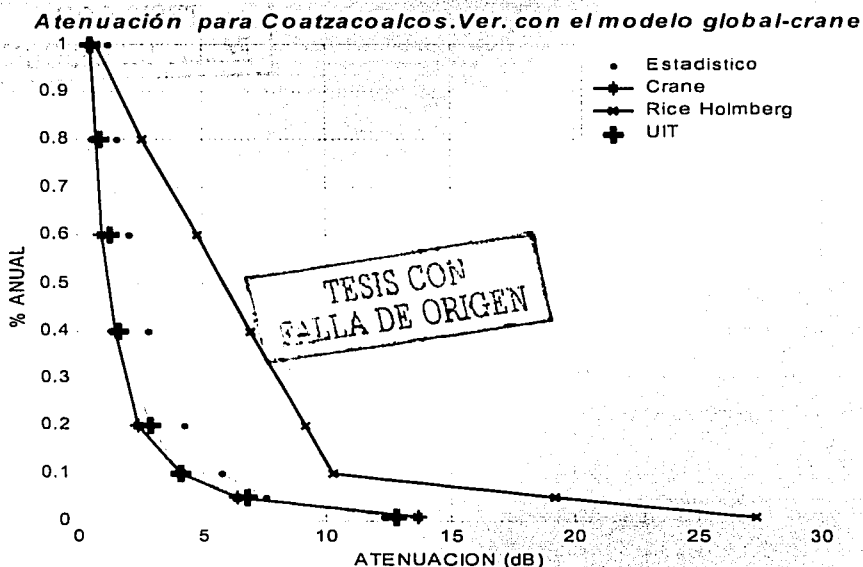


Figura 5.20 Atenuación por lluvia para Coatzacoalcos con el modelo Global-Crane.

Como se observa, si hacemos uso del modelo de predicción de atenuación por lluvia Global-Crane en su región G (ver figura 4.4), el modelo más aproximado a los valores obtenidos con el modelo de precipitación desarrollado es el modelo de precipitación de UIT-R, con una gran similitud, mostrando una diferencia máxima de 1.6 dB y una diferencia mínima de 0.5 dB.

Atenuación por lluvia para Coatzacoalcos, Ver. con el modelo UIT

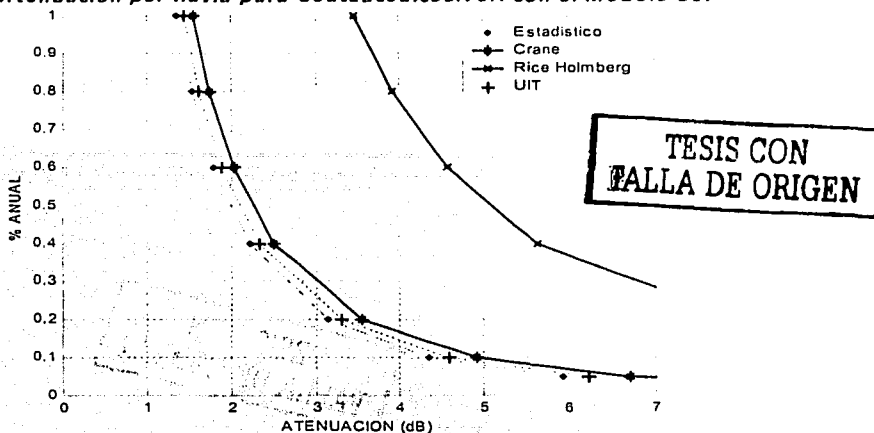


Figura 5.21 Atenuación por lluvia para Coatzacoalcos con el modelo UIT-R

De la figura anterior, si hacemos uso del modelo de predicción de atenuación por lluvia UIT-R en su región N (ver figura 3.8), el modelo más aproximado a los valores obtenidos con el modelo de precipitación desarrollado es el modelo de precipitación de UIT-R, mostrando una diferencia mínima de 0.07 dB y una diferencia máxima en el 0.5dB.

Atenuación para Coatzacoalcos, Ver, utilizando sus modelos de precipitación y Estadístico

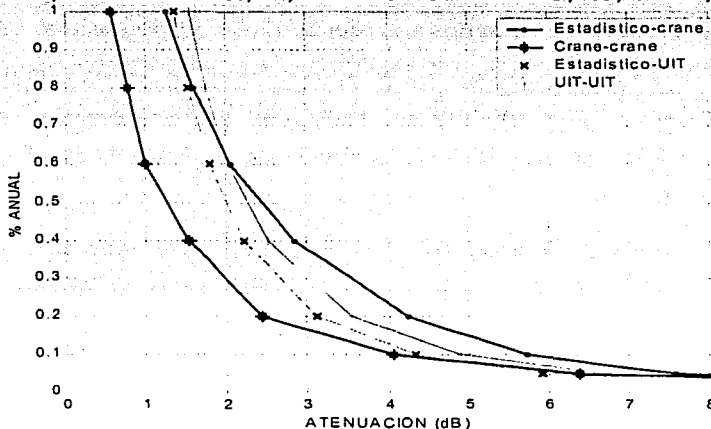


Figura 5.22 Atenuación por lluvia para México D.F. con todos los modelos estudiados

Para finalizar, en las figuras 5.23 y 5.24 se presentan el comportamiento para la Cd. Hermosillo Son., empleando los modelos de predicción de atenuación por lluvia Global-Crane e UIT-R respectivamente, y haciendo uso de varios modelos de precipitación pluvial. Se presenta también la figura 5.25 como un resumen de ambas figuras.

Atenuación por lluvia para Hermosillo Son. con el modelo global-crane

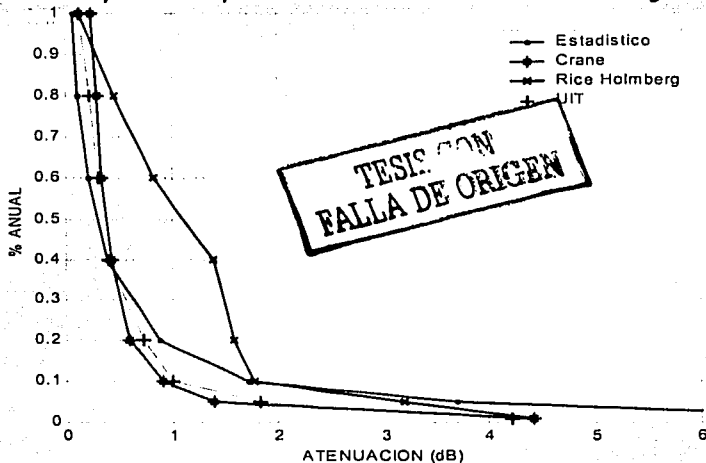


Figura 5.23 Atenuación por lluvia para Hermosillo con el modelo Global-Crane

Como se observa, si hacemos uso del modelo de predicción de atenuación por lluvia Global-Crane en su región F (ver figura 4.4), el modelo más aproximado a los valores obtenidos con el modelo de precipitación desarrollado es el modelo de precipitación UIT-R, mostrando una diferencia mínima de 0.054 dB y una diferencia máxima de 1.8 dB.

De la figura 5.24, si hacemos uso del modelo de predicción de atenuación por lluvia UIT-R en su región E (ver figura 3.8), los modelos más aproximados a los valores obtenidos con el modelo de precipitación desarrollado son los modelos de precipitación de Rice y Global-Crane, los cuales muestran una diferencia mínima 0.3dB y una diferencia máxima de 2.9 dB.

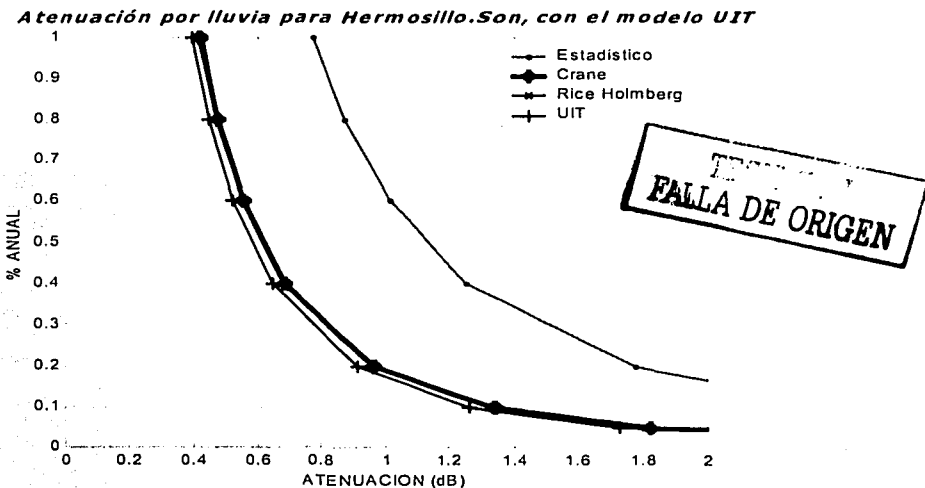


Figura 5.24 Atenuación por lluvia para Hermosillo Son. con el modelo UIT-R

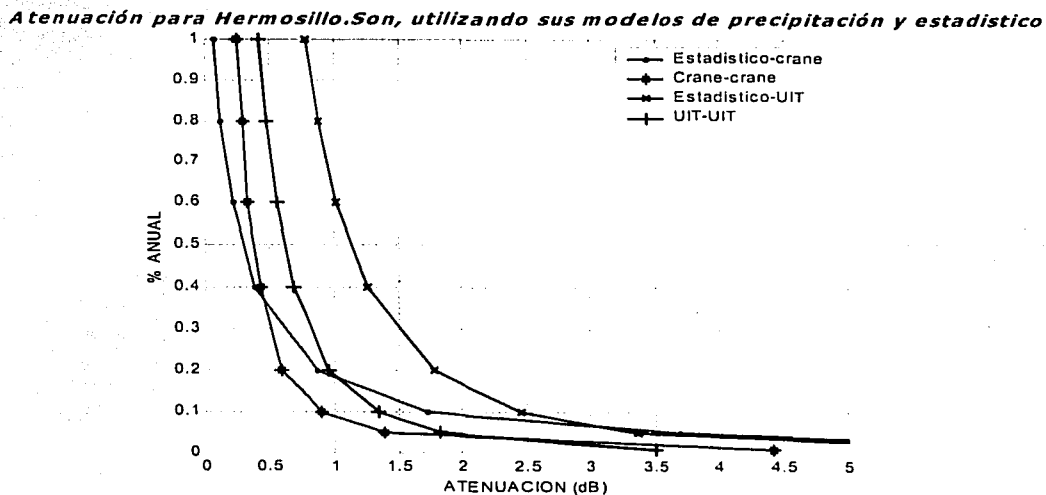


Figura 5.25 Atenuación por lluvia para Hermosillo con todos los modelos estudiados

Para cada una de las ciudades, los modelos de predicción de atenuación presentan valores diferentes cuando se emplean los modelos de precipitación obtenidos estadísticamente, lo cual se debe a las diferencias entre los valores supuestos en la distribución global de lluvia (UIT-R y Global-Crane) y los valores obtenidos para el territorio mexicano. Por lo cual se comprueba el porqué de la importancia que tiene la obtención de modelos de precipitación adecuados para las localidades a partir de sus datos climatológicos locales.

Como se muestra en la tabla 5.6 los resultados para Hermosillo y Coahuila de Zaragoza, y generalizando para todo el territorio nacional, se recomendaría utilizar el modelo de precipitación UIT-R en sus regiones E y N y los modelos de predicción de atenuación Global-Crane y UIT-R respectivamente. Para la Cd. de México y generalizando para toda la región M; se recomendaría utilizar el modelo de precipitación Global-Crane y el modelo de predicción de atenuación por lluvia Global - Crane.

| Modelo de atenuación Modelo de precipitación | | UIT-R | | | | GLOBAL-CRANE | | | |
|---|--------|----------|--------|----------|--------|--------------|--------|----------|--------|
| | | Estadist | Crane | Rice Hol | UIT-R | Estadist | Crane | Rice Hol | UIT-R |
| México D.F. | | | | | | | | | |
| REGION | 99.99% | 2.612 | 4.104 | 9.778 | 5.572 | 2.802 | 4.328 | 9.842 | 5.796 |
| M-UIT | 99.90% | 1 | 1.571 | 3.743 | 2.133 | 0.998 | 1.074 | 1.965 | 1.690 |
| D2-Crane | 99.00% | 0.314 | 0.493 | 1.176 | 0.670 | 0.137 | 0.158 | 0.158 | 0.233 |
| Coahuila de Zaragoza Ver. | | | | | | | | | |
| REGION | 99.99% | 11.353 | 12.854 | 28.798 | 11.949 | 12.302 | 13.712 | 27.371 | 12.844 |
| N-UIT | 99.90% | 4.346 | 4.921 | 11.025 | 4.574 | 5.749 | 4.071 | 10.247 | 4.071 |
| G-Crane | 99.00% | 1.365 | 1.545 | 3.462 | 1.437 | 1.250 | 0.579 | 0.750 | 0.579 |
| Hermosillo Son. | | | | | | | | | |
| REGION | 99.99% | 6.439 | 3.495 | 3.495 | 3.311 | 7.559 | 4.420 | 4.420 | 4.213 |
| E-UIT | 99.90% | 2.465 | 1.338 | 1.338 | 1.267 | 1.723 | 0.903 | 1.773 | 0.997 |
| F-Crane | 99.00% | 0.774 | 0.420 | 0.420 | 0.398 | 0.075 | 0.237 | 0.129 | 0.129 |

Tabla 5.6 Márgenes de atenuación para diferentes localidades y con diferentes modelos de precipitación

5.2.2 TABLA COMPARATIVA DE LOS RESULTADOS

La figura 5.26 y la tabla 5.7 muestran las zonas hidrometeorológicas y los márgenes de atenuación que actualmente usa SATMEX para el cálculo de atenuación por lluvia en sus enlaces. Además, la tabla compara nuestros resultados con los valores de SATMEX, lo que nos da una visión mucho más clara de que los valores de atenuación utilizados en la práctica son mayores a los estadísticos, aunque dentro de un rango aceptable.

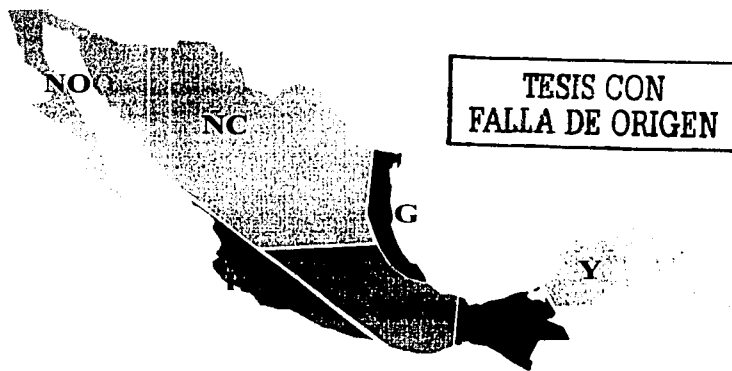


Figura 5.26 Mapa de las zonas hidrometeorológicas de SATMEX

| MARGEN DE ATENUACIÓN POR LLUVIA EN BANDA KU (12.2Ghz) | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|------|------|-----------|-------|-------|---------|-------|-------|-------------|-------|-------|
| MODELO | SATMEX | | | UIT-CRANE | | | UIT-UIT | | | CRANE-CRANE | | |
| % ANUAL | 0.5% | 0.2% | 0.1% | 0.5% | 0.2% | 0.1% | 0.5% | 0.2% | 0.1% | 0.5% | 0.2% | 0.1% |
| NOR OCCIDENTE NO | 0.00 | 1.00 | 1.50 | 0.357 | 0.719 | 0.997 | 0.585 | 0.913 | 1.267 | 0.380 | 0.593 | 0.903 |
| CENTRO CE | 0.20 | 2.20 | 4.30 | 0.725 | 1.132 | 1.57 | 0.984 | 1.537 | 2.133 | 0.340 | 0.625 | 1.074 |
| ISTMO IT | 0.50 | 3.80 | 6.20 | 2.271 | 3.545 | 4.921 | 2.110 | 3.296 | 4.57 | 1.262 | 2.44 | 4.071 |

Tabla 5.7 Márgenes de atenuación Rx para diferentes disponibilidades

5.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.3.1 DEPENDENCIA DE LA FRECUENCIA

Como hemos dicho anteriormente, la atenuación por lluvia también depende de la frecuencia. En la sección anterior el análisis se realizó para 12.2 GHz, que es la frecuencia descendente para un enlace satelital en banda Ku. En la figura 5.27 se muestra el comportamiento de la señal para una frecuencia de 14.5 GHz que es la frecuencia ascendente del enlace en dicha banda.

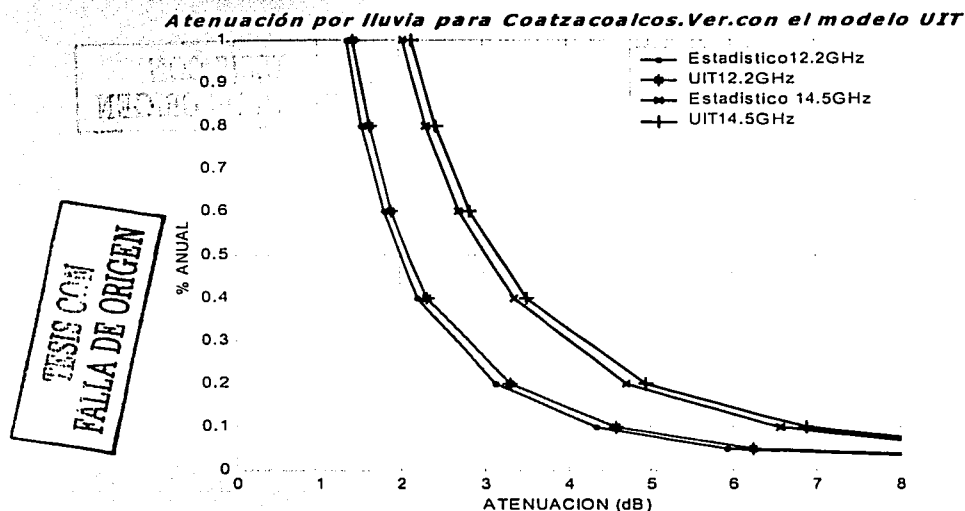


Figura 5.27 Predicciones de atenuación para 12.2GHz. y 14.5GHz

La figura 5.27 demuestra que la atenuación por lluvia depende totalmente de la frecuencia, por lo que presentará mayor atenuación el enlace ascendente que el descendente. Esa es, de hecho, la razón por la que el enlace descendente utiliza la frecuencia más baja.

5.3.2 DEPENDENCIA DEL TIPO DE POLARIZACIÓN

Para verificar la dependencia con respecto al tipo de polarización se consideró el mismo enlace que en el punto 5.3.1 mostrado en la tabla 5.5 para Coatzacoalcos con el modelo de predicción de atenuación UIT-R y se usó la tabla 3.3 para obtener los parámetros dependientes de la frecuencia y polarización, los resultados finales se muestran en la figura 5.27.

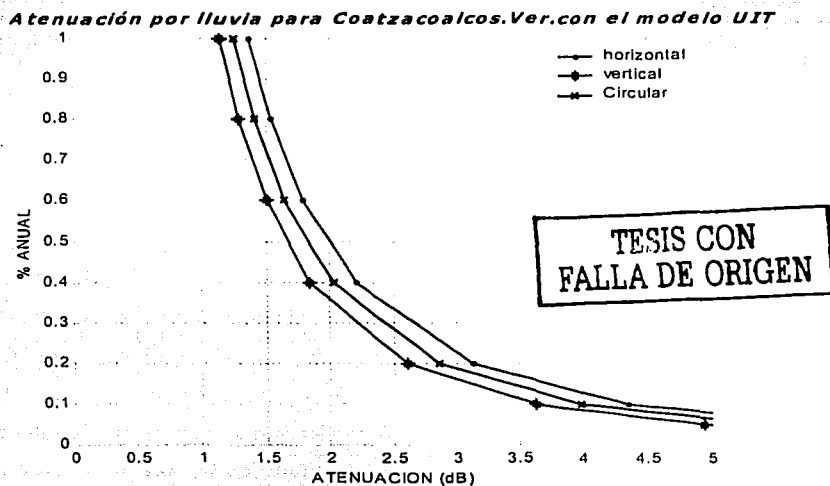


Figura 5.27 Predicciones de atenuación para diferentes polarizaciones

Los resultados de este análisis nos muestran que la polarización horizontal es la más afectada por la lluvia debido a la forma no esférica de las gotas y la polarización vertical la que menos afectada. La polarización circular, al poderse descomponer en sus componentes horizontal y vertical, tiene una atenuación promedio de éstas. Esto concuerda con otros estudios hechos respecto a la dependencia del nivel de una señal con respecto a su polarización.

CONCLUSIONES

Partiendo de la hipótesis que los modelos de atenuación UIT y Global-Crane, alimentados por el modelo de precipitación pluvial estadístico son las mejores predicciones ya que los datos estadísticos por sí mismos representan el comportamiento real de la lluvia en un lugar específico a lo largo de un período de tiempo determinado, se realizó una comparación de los mismos modelos de atenuación pero ahora alimentados por sus propios modelos de precipitación y por el modelo Rice-Holmberg.

Los resultados de esta comparación nos permiten hacer las siguientes recomendaciones: **Utilizar el modelo de precipitación de la UIT-R en sus regiones N y E (ver figura 3.6 y anexo A) y los modelos de predicción de atenuación por lluvia UIT-R y Global-Crane (ver figura 4.4) en cada una de las regiones respectivamente. Y con base en el análisis de los resultados para la Cd. de México ubicada en la región D según el modelo de precipitación Global-Crane se recomienda utilizar el modelo de precipitación Global-Crane y el modelo de predicción de atenuación por lluvia Global-Crane para toda esa región.**

Estas diferencias de uso entre modelos de atenuación alimentados por modelos de precipitación radica en éstos últimos. Los modelos de precipitación Rice-Holmberg, UIT y Global-Crane se obtuvieron con datos climatológicos no tan actualizados como lo están en el modelo estadístico.

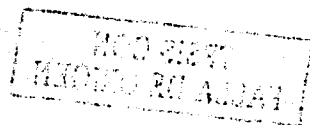
La comparación de esta conclusión parcial, para las tres zonas hidrometeorológicas seleccionadas, con los valores de atenuación utilizados por SATMEX puede observarse en las tablas 5.6 y 5.7.

En dichas tablas se observa que las recomendaciones antes citadas son las más cercanas a los valores que utiliza SATMEX para sus cálculos de enlace.

CONCLUSIONES

Hemos de agregar que conforme se utilicen períodos mínimos de un año de precipitación pluvial y se disponga al 100% de un enlace dedicado, se podrán actualizar los diferentes modelos de precipitación lo cual, a través de los modelos de atenuación arrojarán márgenes de atenuación más reales.

También es de gran importancia mencionar que actualmente se está investigando la influencia de la lluvia almacenada en la superficie de los reflectores de las antenas, ya que modifica la atenuación de la señal. A partir de esta hipótesis, se recomienda que ésta sea considerada en el diseño de futuros modelos de predicción de atenuación por lluvia, o en su caso, se establezcan factores de atenuación relacionados con la frecuencia y se sumen a las predicciones obtenidas con los modelos ya existentes.



ANEXO A

**CLASIFICACIÓN DE LAS ZONAS
HIDROMETEOROLÓGICAS SEGÚN LA UIT**

Como se muestra en los siguientes mapas, la UIT ha dividido al mundo en 14 zonas hidrometeorológicas que presentan diferentes características de precipitación.

Para la obtención de las curvas de las figuras A.1, A.2 y A.3, se han ampliado las distribuciones más allá del 0.3% a porcentajes de tiempo p_c tan grandes que la intensidad de lluvia se supone próxima a cero, utilizando la expresión:

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

$$R(p) = R(0.3\%) \left[\frac{\log(p_c / p)}{\log(0.3)} \right]^2 \quad \text{mm/h}$$

y utilizando, para $R(0.3\%)$ y p_c , los siguientes valores:

| Zona Hidrometeorológica | R(0.3%) mm/h | p _c % |
|----------------------------|-----------------|---------------------|
| A, B | 1.5 | 2 |
| C, D, E | 3.5 | 3 |
| F, G, H, J, K | 7.0 | 5 |
| L, M | 9.0 | 7.5 |
| N, P | 25.0 | 10 |

Tabla A.1

Este método es apropiado para la evaluación numérica de la distancia de dispersión por lluvia.

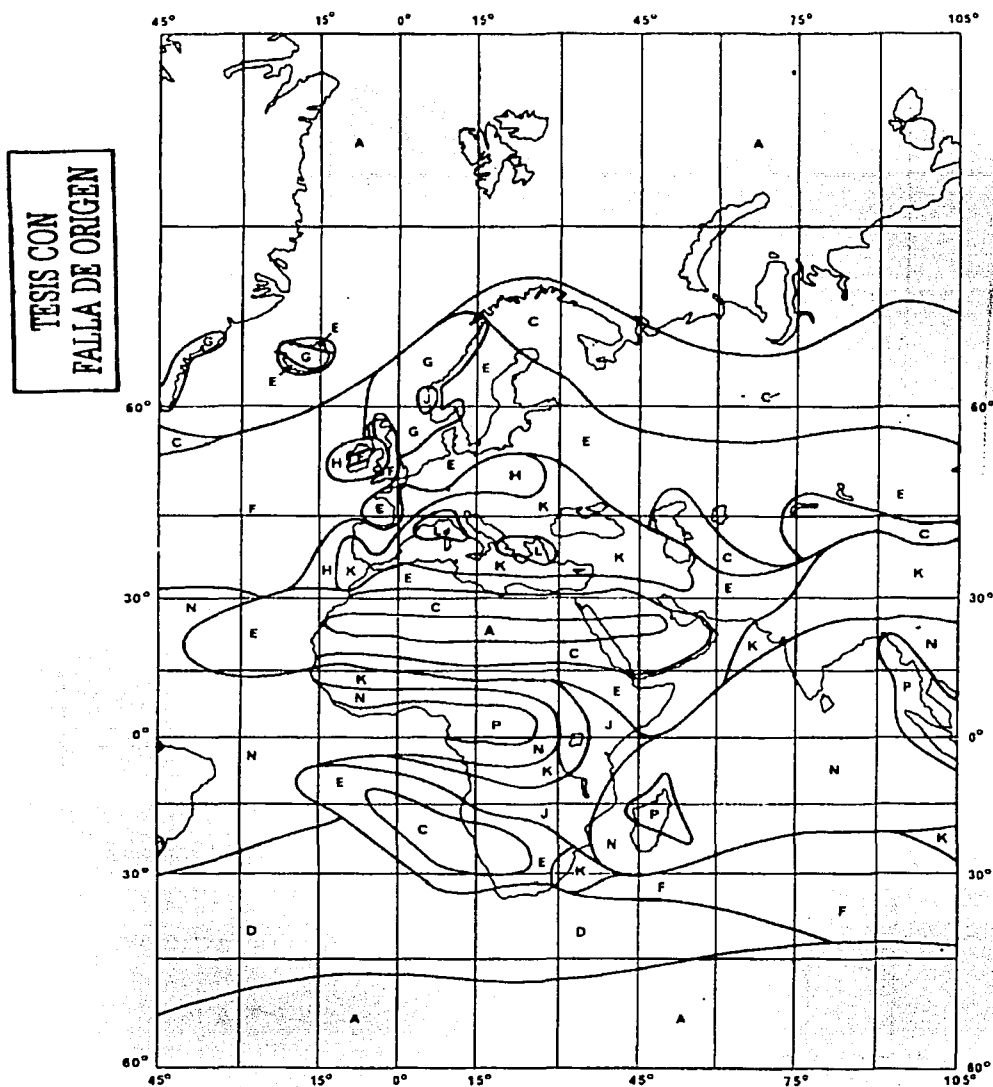


Figura A.1 Mapa de zonas hidrometeorológicas de la región 1 de la UIT

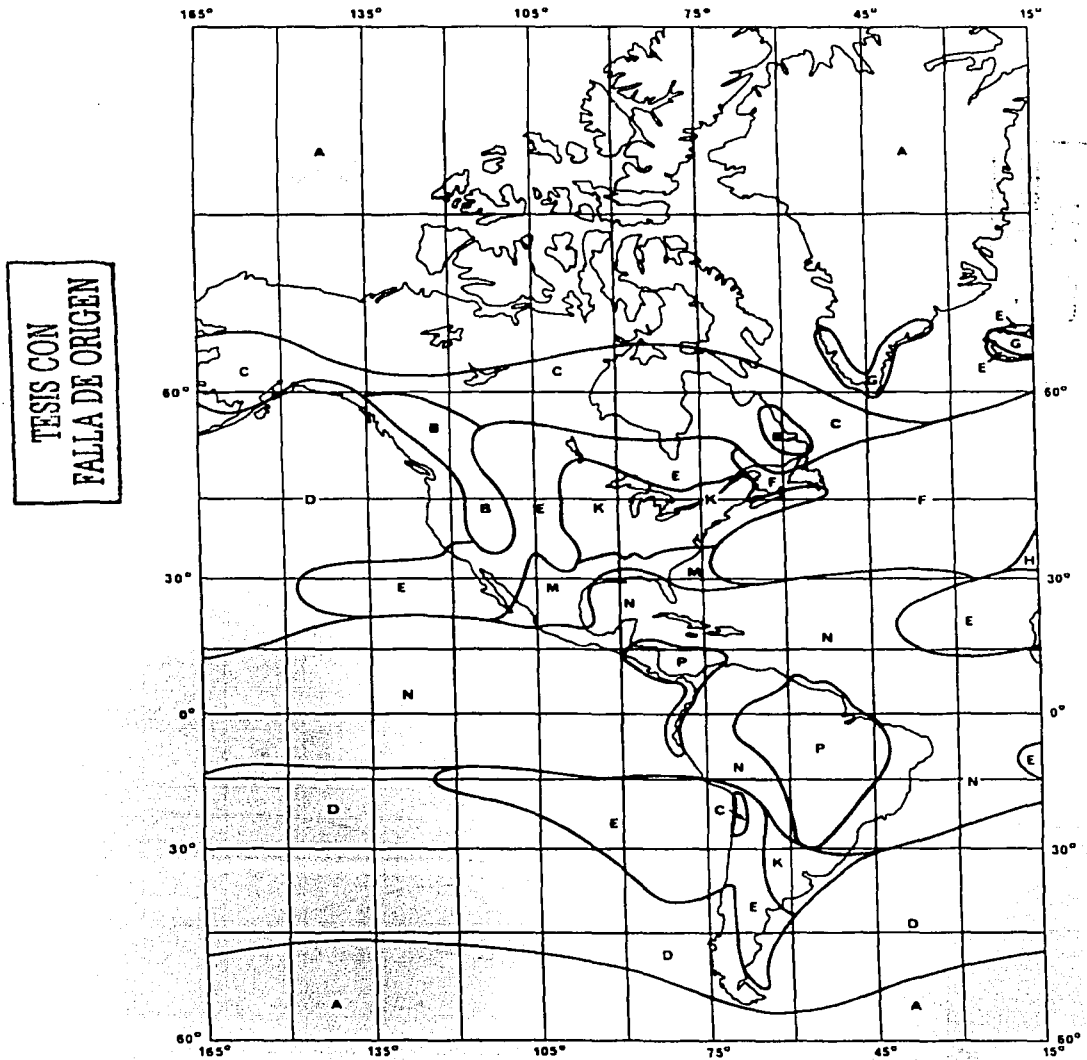


Figura A.2 Mapa de zonas hidrometeorológicas de la región 2 de la UIT

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

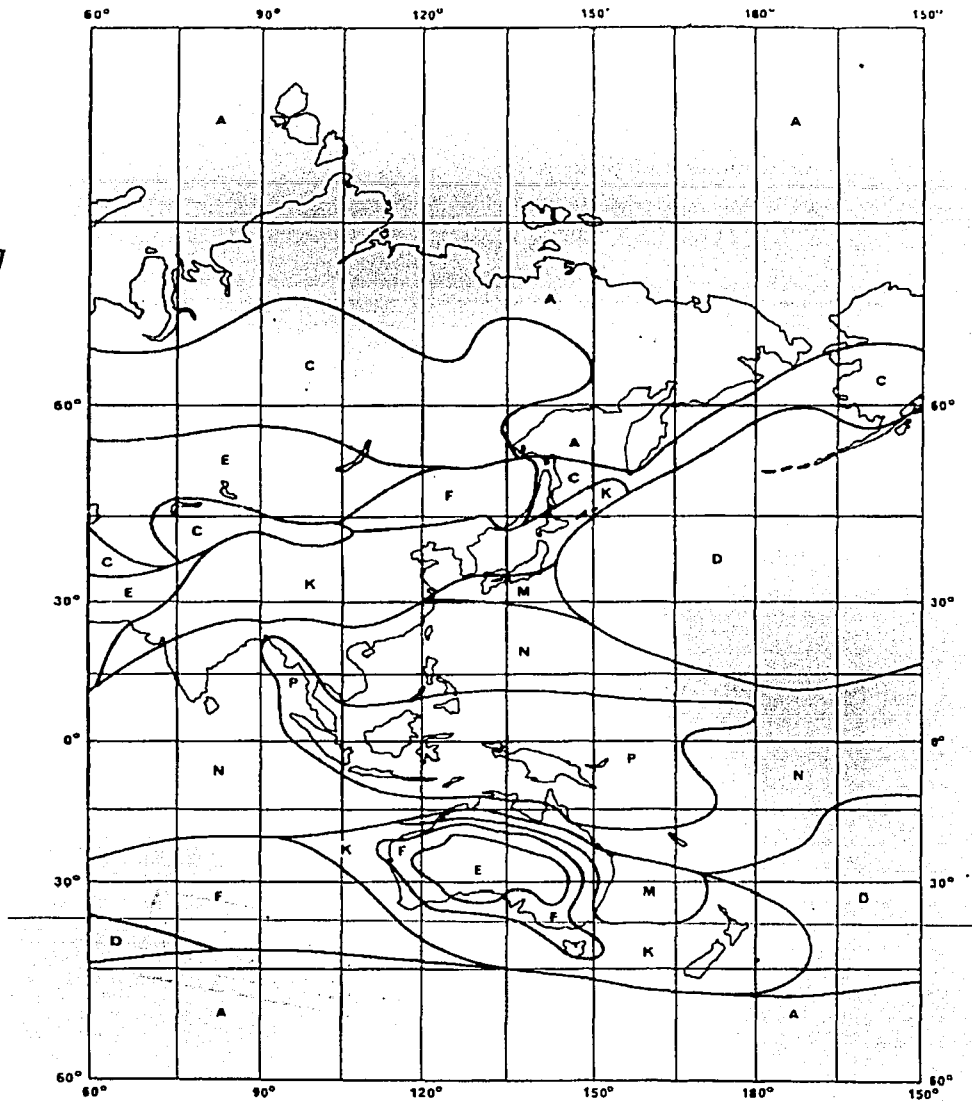


Figura A.3 Mapa de zonas hidrometeorológicas de la región 3 de la UIT

CLASIFICACIÓN DE LAS ZONAS HIDROMETEOROLÓGICAS SEGÚN LA UIT

Para una evaluación numérica de la razón de lluvia R con un porcentaje deseado $0.001 \leq p \leq 0.3\%$, se tienen las siguientes ecuaciones:

Zonas hidrometeorológicas A, B:

$$R = 1.1p^{-0.465} + 0.25[\log(p/0.001)\log^3(0.3/p)] - [\log(p/0.1) + 1.1]^2 \text{ mm/h}$$

Zonas hidrometeorológicas C, D, E:

$$R = 2p^{-0.466} + 0.5[\log(p/0.001)\log^3(0.3/p)] \text{ mm/h}$$

Zonas hidrometeorológicas F, G, H, J, K:

$$R = 4.17p^{-0.418} + 1.6[\log(p/0.001)\log^3(0.3/p)] \text{ mm/h}$$

Zonas hidrometeorológicas L, M:

$$R = 4.9p^{-0.48} + 6.5[\log(p/0.001)\log^2(0.3/p)] \text{ mm/h}$$

Zonas hidrometeorológicas N, P:

$$R = 15.6\{p^{-0.383} + [\log(p/0.001)\log^{1.5}(0.3/p)]\} \text{ mm/h}$$

TECNOLOGÍA
FALLA DE ORIGEN

ANEXO B

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL Y ANUAL EN LA REPÚBLICA MEXICANA

En el siguiente mapa se muestra con diferentes colores la precipitación media anual en la República Mexicana en el período de 1941 al 2000.

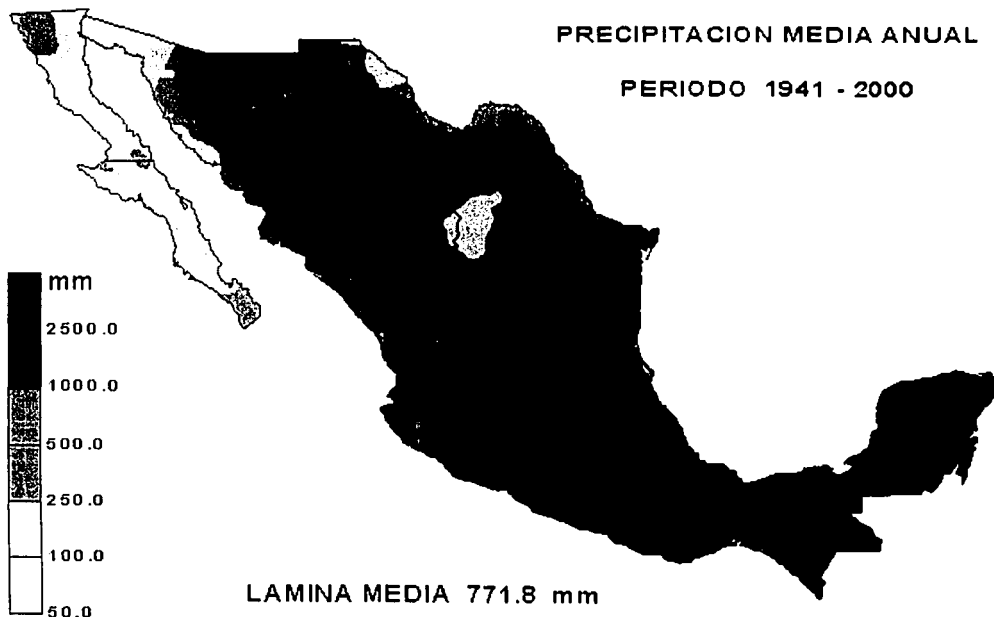


Figura B.1

En la figura B.2 se muestra la precipitación máxima, medida y mínima promedio mensual para las capitales de los Estados (período 1941-2001).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

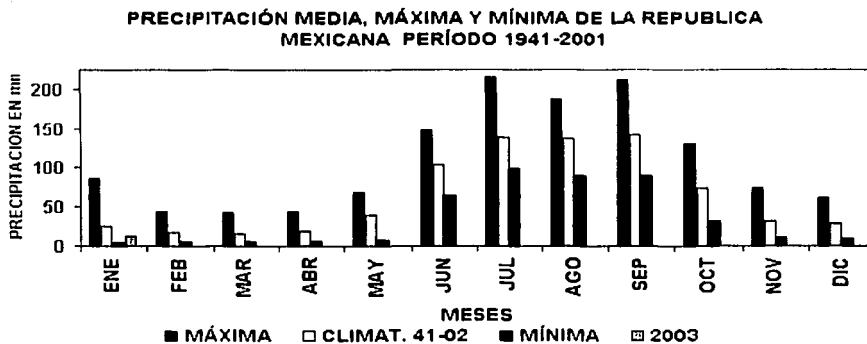


Figura B.2

| Precipitación media mensual y anual en mm | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| Período 1941 - 2002 | | | | | | | | | | | | | |
| AÑO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
| 1941 | 29.5 | 24.7 | 21.8 | 27.8 | 49.9 | 120.7 | 137.9 | 118.4 | 184.5 | 88.0 | 34.1 | 46.2 | 883.5 |
| 1942 | 20.3 | 20.6 | 13.0 | 13.4 | 47.9 | 92.0 | 153.6 | 177.8 | 162.7 | 49.8 | 41.4 | 26.8 | 819.3 |
| 1943 | 35.0 | 9.8 | 13.7 | 13.9 | 34.4 | 118.8 | 119.7 | 131.9 | 176.7 | 72.3 | 39.1 | 49.9 | 815.2 |
| 1944 | 20.0 | 19.2 | 25.1 | 9.3 | 32.1 | 117.1 | 102.9 | 185.0 | 200.2 | 55.7 | 39.0 | 18.6 | 824.2 |
| 1945 | 20.0 | 10.9 | 11.5 | 8.9 | 24.7 | 70.1 | 127.2 | 146.7 | 101.6 | 93.6 | 12.4 | 11.2 | 628.8 |
| 1946 | 35.5 | 14.7 | 7.6 | 31.3 | 38.7 | 96.7 | 105.2 | 124.8 | 145.7 | 94.1 | 33.0 | 38.0 | 765.3 |
| 1947 | 35.8 | 15.0 | 11.3 | 17.6 | 59.7 | 98.6 | 105.6 | 186.5 | 124.1 | 77.4 | 43.1 | 56.0 | 830.7 |
| 1948 | 26.5 | 25.4 | 10.3 | 18.1 | 45.4 | 106.2 | 160.1 | 108.3 | 148.8 | 80.5 | 38.3 | 31.4 | 799.3 |
| 1949 | 45.5 | 20.0 | 11.5 | 17.1 | 36.7 | 98.0 | 122.7 | 106.7 | 151.8 | 64.6 | 14.0 | 31.0 | 719.6 |
| 1950 | 27.2 | 14.3 | 22.8 | 19.0 | 43.5 | 103.1 | 159.1 | 96.6 | 121.4 | 79.7 | 10.4 | 9.0 | 706.1 |
| 1951 | 12.3 | 8.5 | 18.9 | 10.5 | 42.2 | 91.3 | 130.6 | 127.3 | 135.9 | 71.5 | 23.2 | 21.4 | 693.6 |
| 1952 | 10.1 | 10.1 | 16.4 | 32.1 | 45.0 | 141.7 | 143.3 | 124.8 | 137.8 | 42.2 | 36.5 | 22.4 | 762.4 |
| 1953 | 4.7 | 17.8 | 10.8 | 12.2 | 23.2 | 83.1 | 132.0 | 131.1 | 95.1 | 89.2 | 27.5 | 26.0 | 652.7 |
| 1954 | 18.4 | 12.6 | 9.7 | 23.6 | 52.4 | 117.2 | 140.4 | 127.1 | 143.2 | 90.0 | 15.4 | 9.1 | 759.1 |
| 1955 | 29.3 | 10.8 | 9.3 | 8.8 | 26.4 | 66.7 | 215.7 | 169.4 | 212.1 | 97.0 | 26.7 | 20.4 | 892.6 |
| 1956 | 16.5 | 10.1 | 6.5 | 15.0 | 67.8 | 115.6 | 125.7 | 101.3 | 114.8 | 46.9 | 27.3 | 20.9 | 668.4 |
| 1957 | 19.8 | 23.7 | 19.2 | 20.6 | 41.3 | 82.3 | 115.6 | 108.9 | 126.5 | 70.9 | 15.0 | 16.7 | 660.5 |
| 1958 | 47.7 | 24.3 | 26.0 | 9.7 | 43.5 | 139.2 | 153.8 | 129.4 | 203.6 | 130.5 | 60.9 | 29.2 | 997.8 |
| 1959 | 18.3 | 19.8 | 8.2 | 43.9 | 37.4 | 122.4 | 131.7 | 135.4 | 89.6 | 108.7 | 30.0 | 30.3 | 775.7 |
| 1960 | 34.1 | 10.5 | 8.5 | 16.3 | 27.2 | 64.9 | 153.9 | 149.4 | 98.8 | 82.4 | 27.9 | 25.5 | 699.4 |

PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL Y ANUAL EN LA REPÚBLICA MEXICANA

Precipitación media mensual y anual en mm
Período 1941 - 2002

| AÑO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| 1961 | 46.7 | 11.5 | 10.1 | 15.3 | 23.4 | 130.8 | 157.7 | 109.3 | 118.5 | 62.0 | 40.4 | 20.3 | 746.0 |
| 1962 | 20.4 | 9.4 | 12.9 | 28.8 | 24.7 | 107.8 | 111.2 | 107.0 | 147.2 | 73.7 | 24.6 | 25.9 | 693.6 |
| 1963 | 15.5 | 11.3 | 10.8 | 18.1 | 39.4 | 101.4 | 162.8 | 122.3 | 146.0 | 55.1 | 29.5 | 36.2 | 748.4 |
| 1964 | 20.0 | 9.6 | 14.9 | 13.1 | 52.5 | 106.3 | 127.3 | 108.1 | 148.4 | 50.6 | 32.0 | 46.6 | 729.4 |
| 1965 | 25.0 | 22.5 | 12.8 | 21.3 | 28.4 | 90.6 | 130.2 | 142.7 | 123.2 | 64.0 | 27.2 | 54.0 | 741.9 |
| 1966 | 27.7 | 28.2 | 17.6 | 28.5 | 51.5 | 128.3 | 131.9 | 156.0 | 123.1 | 93.7 | 18.6 | 27.0 | 832.1 |
| 1967 | 32.5 | 12.6 | 22.2 | 21.0 | 38.8 | 116.3 | 128.0 | 154.8 | 179.0 | 83.2 | 30.2 | 50.0 | 868.6 |
| 1968 | 29.7 | 32.6 | 39.8 | 32.2 | 40.5 | 95.3 | 152.1 | 135.5 | 145.1 | 68.3 | 30.9 | 37.3 | 839.3 |
| 1969 | 23.6 | 20.9 | 13.4 | 13.6 | 30.8 | 67.2 | 156.3 | 160.9 | 141.8 | 66.5 | 32.1 | 25.1 | 752.2 |
| 1970 | 18.7 | 25.7 | 13.8 | 9.6 | 30.0 | 123.8 | 142.4 | 162.3 | 183.1 | 45.8 | 18.9 | 8.9 | 783.0 |
| 1971 | 11.8 | 7.5 | 11.1 | 12.3 | 33.6 | 126.4 | 120.1 | 163.0 | 142.9 | 97.3 | 26.7 | 20.8 | 773.5 |
| 1972 | 23.0 | 11.0 | 15.1 | 15.6 | 59.3 | 132.1 | 156.9 | 134.3 | 112.4 | 73.9 | 53.0 | 22.9 | 809.5 |
| 1973 | 25.9 | 39.9 | 9.5 | 16.3 | 39.5 | 135.3 | 143.8 | 158.6 | 149.8 | 83.8 | 22.4 | 20.5 | 845.3 |
| 1974 | 22.6 | 16.5 | 14.6 | 21.3 | 36.9 | 102.9 | 144.3 | 122.4 | 170.6 | 53.2 | 36.2 | 25.2 | 766.7 |
| 1975 | 25.1 | 11.0 | 9.1 | 8.1 | 47.3 | 85.1 | 153.5 | 138.4 | 135.5 | 63.5 | 21.0 | 20.0 | 717.6 |
| 1976 | 20.0 | 16.8 | 12.4 | 26.4 | 35.3 | 107.2 | 196.8 | 121.5 | 142.5 | 96.0 | 73.3 | 29.8 | 878.0 |
| 1977 | 20.9 | 10.0 | 6.0 | 17.2 | 36.7 | 110.8 | 107.5 | 128.0 | 101.1 | 67.4 | 30.1 | 26.2 | 661.9 |
| 1978 | 19.1 | 28.5 | 29.5 | 12.3 | 39.1 | 107.5 | 142.3 | 134.3 | 194.3 | 92.1 | 30.0 | 37.4 | 866.4 |
| 1979 | 36.5 | 18.3 | 17.2 | 20.4 | 41.6 | 98.5 | 127.2 | 141.5 | 116.4 | 35.7 | 20.1 | 43.5 | 716.9 |
| 1980 | 34.5 | 23.3 | 12.5 | 21.7 | 34.0 | 74.2 | 114.9 | 157.5 | 151.9 | 63.9 | 35.3 | 25.8 | 749.5 |
| 1981 | 56.3 | 25.9 | 22.6 | 41.9 | 44.9 | 148.4 | 149.3 | 163.5 | 139.5 | 87.5 | 17.5 | 25.5 | 922.8 |
| 1982 | 18.5 | 19.3 | 13.2 | 27.5 | 55.8 | 64.4 | 112.8 | 89.0 | 111.3 | 62.8 | 41.3 | 53.6 | 669.5 |
| 1983 | 29.3 | 44.0 | 43.1 | 11.0 | 41.6 | 65.2 | 155.6 | 143.9 | 151.4 | 74.8 | 40.3 | 29.5 | 829.7 |
| 1984 | 54.4 | 13.4 | 8.2 | 8.7 | 64.7 | 132.9 | 176.5 | 144.1 | 153.2 | 52.7 | 23.8 | 60.8 | 893.4 |
| 1985 | 36.0 | 16.5 | 15.0 | 37.2 | 51.1 | 126.9 | 139.8 | 118.8 | 106.1 | 65.5 | 31.9 | 25.4 | 770.6 |
| 1986 | 15.2 | 14.9 | 10.7 | 26.3 | 57.4 | 122.7 | 115.8 | 103.8 | 125.2 | 83.0 | 36.8 | 36.2 | 748.0 |
| 1987 | 20.1 | 22.0 | 16.8 | 21.8 | 52.6 | 101.4 | 152.5 | 113.8 | 104.1 | 32.1 | 28.2 | 23.8 | 689.2 |
| 1988 | 20.2 | 13.2 | 17.7 | 21.7 | 24.8 | 121.6 | 162.4 | 173.8 | 123.8 | 49.7 | 17.9 | 18.8 | 765.6 |
| 1989 | 22.5 | 12.7 | 9.7 | 14.0 | 26.1 | 85.7 | 110.1 | 158.9 | 124.1 | 52.4 | 34.6 | 41.1 | 691.8 |
| 1990 | 23.8 | 25.8 | 18.7 | 14.9 | 44.7 | 80.4 | 201.7 | 157.7 | 153.9 | 92.8 | 30.8 | 32.7 | 877.9 |
| 1991 | 17.9 | 22.1 | 10.7 | 10.2 | 30.3 | 99.9 | 171.5 | 103.8 | 155.5 | 72.2 | 43.3 | 59.0 | 796.4 |
| 1992 | 86.2 | 30.5 | 19.0 | 26.6 | 51.6 | 69.1 | 130.0 | 132.1 | 124.7 | 74.2 | 39.1 | 26.2 | 809.3 |
| 1993 | 43.2 | 15.3 | 14.2 | 15.8 | 34.2 | 133.4 | 117.6 | 164.1 | 204.0 | 70.4 | 33.0 | 14.4 | 859.6 |
| 1994 | 25.5 | 13.7 | 13.7 | 18.9 | 23.0 | 70.7 | 102.0 | 153.2 | 129.2 | 79.4 | 43.8 | 45.1 | 718.2 |
| 1995 | 22.6 | 22.6 | 16.2 | 18.3 | 38.6 | 89.1 | 122.5 | 179.4 | 127.4 | 66.5 | 35.4 | 28.2 | 766.8 |
| 1996 | 5.9 | 6.0 | 8.5 | 15.9 | 23.4 | 105.5 | 112.9 | 165.9 | 114.9 | 66.8 | 26.5 | 12.2 | 664.4 |
| 1997 | 16.8 | 15.8 | 28.3 | 38.5 | 39.6 | 75.0 | 105.6 | 103.3 | 115.7 | 77.1 | 51.5 | 24.9 | 692.1 |
| 1998 | 12.2 | 16.0 | 12.8 | 6.4 | 7.6 | 68.9 | 138.7 | 139.2 | 172.5 | 112.0 | 43.6 | 11.1* | 741.0 |

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Precipitación media mensual y anual en mm
Periodo 1941 - 2002

| AÑO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|
| 1999 | 8.4 | 8.2 | 11.7 | 14.0 | 25.1 | 126.4 | 154.5 | 138.0 | 150.1 | 80.7 | 18.6 | 18.4* | 754.1 |
| 2000 | 11.6 | 11.4 | 14.3 | 14.7 | 68.9 | 140.4 | 99.1 | 130.0 | 124.6 | 92.2 | 37.3 | 20.7* | 765.2 |
| 2001 | 14.8 | 24.2 | 18.0 | 23.7 | 53.2 | 89.9 | 135.1 | 139.2 | 146.2 | 74.0 | 24.4 | 23.4* | 766.1 |
| 2002 | 14.0 | 29.6 | 7.8 | 8.6 | 31.2 | 102.1 | 135.5 | 99.2 | 168.3 | 81.7 | 44.1 | 16.8* | 738.9 |
| 2003 | 13.0 | | | | | | | | | | | | |

| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|------------------|------|-----|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| MAXIMA | 86.2 | 44 | 43.1 | 43.9 | 68.9 | 148.4 | 215.7 | 186.5 | 212.1 | 130.5 | 73.3 | 60.8 | 997.8 |
| CLIMAT. 41-02 | 25.5 | 18 | 15.1 | 19 | 39.9 | 103.4 | 137.8 | 136.5 | 141.5 | 73.8 | 31.8 | 28.9 | 771.2 |
| MINIMA | 4.7 | 6.0 | 6.0 | 6.4 | 7.6 | 64.4 | 99.1 | 89 | 89.6 | 32.1 | 10.4 | 8.9 | 638.8 |

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

ANEXO C

DATOS PARA CADA MUNICIPIO DEL TERRITORIO NACIONAL

En la siguiente tabla se encuentran los datos geográficos, los ángulos de elevación y azimut, así como los de la zona de precipitación del modelo Global de Crane de distribución de lluvia y la tasa a 0.01%, de todos los municipios de nuestro país.

Las localidades están agrupadas por estado. Los estados están ubicados por orden alfabético.

| Datos de cada Municipio del Territorio Nacional | | | | | | | | | |
|---|----|---------------|---------|----------------|---------|------------|-----------|---------------|--------------|
| | | Longitud (°) | | | | | | | |
| | | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud | | Precipitación | |
| | | Grados | Minutos | Grados | Minutos | Kilómetros | Elevación | ZONA | Tasa a 0.01% |
| Estado de Baja California | | | | | | | | | |
| Ensenada | 31 | 52 | 116 | 32 | 0.02 | 52.03 | 166.15 | F | 26.011 |
| Mexicali | 32 | 40 | 115 | 28 | 0.01 | 51.56 | 166.50 | F | 26.011 |
| Tijuana | 32 | 34 | 116 | 36 | 0.54 | 51.255 | 166.38 | F | 26.011 |
| Tipitapa | 32 | 32 | 117 | 3 | 0.02 | 51.195 | 165.62 | F | 26.011 |
| Playas de Rosarito | 32 | 21 | 117 | 3 | 0.01 | 51.396 | 165.53 | F | 26.011 |
| Estado de Baja California Sur | | | | | | | | | |
| Ciudad Constitución | 25 | 1 | 111 | 40 | 0.05 | 60.613 | 174.18 | F | 26.011 |
| Santa Rosalía | 27 | 20 | 112 | 16 | 0.04 | 57.897 | 173.31 | F | 26.011 |
| Paz La | 24 | 9 | 110 | 19 | 0.03 | 61.715 | 172.27 | F | 26.011 |
| San José del Cabo | 21 | 3 | 109 | 42 | 0.04 | 63.008 | 178.72 | F | 26.011 |
| Loreto | 26 | 1 | 111 | 21 | 0.02 | 59.497 | 175.11 | F | 26.011 |
| Estado de Campeche | | | | | | | | | |
| Calixtlán | 20 | 22 | 90 | 3 | 0.01 | 57.669 | 224.94 | D1 | 67.834 |
| Campeshe | 19 | 50 | 90 | 32 | 0.01 | 58.49 | 224.88 | G | 103.99 |
| Ciudad del Carmen | 18 | 30 | 91 | 50 | 0 | 60.451 | 224.36 | G | 103.99 |
| Champotón | 19 | 21 | 90 | 43 | 0.01 | 59.023 | 225.23 | G | 103.99 |

| Municipio (Campos No) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud | Precipitación | | ZONA | Tasa de Lluvia a 0.01% |
|--------------------------------------|---------------|---------|----------------|---------|---------|---------------|-----------|------|------------------------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | Kilómetros | Elevación | | |
| Ensenada | 31 | 52 | 116 | 32 | 0.02 | 52.03 | 166.15 | F | 26.011 |
| Mexicali | 32 | 40 | 115 | 28 | 0.01 | 51.56 | 166.50 | F | 26.011 |
| Tijuana | 32 | 34 | 116 | 36 | 0.54 | 51.255 | 166.38 | F | 26.011 |
| Tipitapa | 32 | 32 | 117 | 3 | 0.02 | 51.195 | 165.62 | F | 26.011 |
| Playas de Rosarito | 32 | 21 | 117 | 3 | 0.01 | 51.396 | 165.53 | F | 26.011 |
| Estado de Baja California Sur | | | | | | | | | |
| Ciudad Constitución | 25 | 1 | 111 | 40 | 0.05 | 60.613 | 174.18 | F | 26.011 |
| Santa Rosalía | 27 | 20 | 112 | 16 | 0.04 | 57.897 | 173.31 | F | 26.011 |
| Paz La | 24 | 9 | 110 | 19 | 0.03 | 61.715 | 172.27 | F | 26.011 |
| San José del Cabo | 21 | 3 | 109 | 42 | 0.04 | 63.008 | 178.72 | F | 26.011 |
| Loreto | 26 | 1 | 111 | 21 | 0.02 | 59.497 | 175.11 | F | 26.011 |
| Estado de Campeche | | | | | | | | | |
| Calixtlán | 20 | 22 | 90 | 3 | 0.01 | 57.669 | 224.94 | D1 | 67.834 |
| Campeshe | 19 | 50 | 90 | 32 | 0.01 | 58.49 | 224.88 | G | 103.99 |
| Ciudad del Carmen | 18 | 30 | 91 | 50 | 0 | 60.451 | 224.36 | G | 103.99 |
| Champotón | 19 | 21 | 90 | 43 | 0.01 | 59.023 | 225.23 | G | 103.99 |

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

| Municipio (Ciudad) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud Elevación | Área | | Tasa de Baza al 0.01% |
|--|---------------|---------|----------------|---------|----------------------|-----------|------|--------------------------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | Elevación | Área | |
| Santa María | 17 | 21 | 93 | 47 | 1,555 | 191.86 | F | 26,012 |
| Tehuacan | 18 | 05 | 103 | 27 | 1,152 | 194.13 | DI | 36,928 |
| Yaxca | 17 | 30 | 102 | 45 | 1,122 | 194.66 | DI | 36,928 |
| Yaxalilan | 18 | 11 | 104 | 47 | 1,155 | 197.51 | DI | 36,928 |
| Zapotlán | 18 | 26 | 103 | 53 | 1,152 | 196.98 | DI | 36,928 |
| Aspectos geográficos de Colima | | | | | | | | |
| Ciudad de Armeria | 18 | 06 | 103 | 56 | 1,012 | 195.76 | DI | 36,928 |
| Colima | 18 | 15 | 103 | 43 | 1,136 | 196.21 | DI | 36,928 |
| Comala | 18 | 01 | 103 | 45 | 1,136 | 196.09 | DI | 36,928 |
| Copaculcan | 18 | 07 | 103 | 49 | 1,152 | 195.99 | DI | 36,928 |
| Cuandame | 18 | 28 | 103 | 56 | 1,042 | 196.50 | DI | 36,928 |
| Michoacan | 18 | 01 | 103 | 44 | 1,117 | 196.18 | DI | 36,928 |
| Manzanillo | 19 | 3 | 104 | 19 | 1,012 | 194.67 | DI | 36,928 |
| Minatitlan-Huamantla | 18 | 23 | 104 | 3 | 1,074 | 195.19 | DI | 36,928 |
| Tecoman | 18 | 33 | 103 | 25 | 1,012 | 196.83 | DI | 36,928 |
| Ciudad de Villa de Alvarez | 19 | 16 | 103 | 44 | 1,032 | 196.55 | DI | 36,928 |
| Aspectos geográficos de Chiapas | | | | | | | | |
| Amatitlan | 15 | 20 | 92 | 40 | 1,018 | 128.30 | G | 101.99 |
| Azula | 16 | 13 | 92 | 48 | 1,012 | 125.94 | G | 101.99 |
| Azaputlan | 15 | 17 | 92 | 41 | 1,018 | 128.37 | G | 101.99 |
| Altamirano | 16 | 14 | 92 | 2 | 1,125 | 127.01 | G | 101.99 |
| Amaten | 17 | 22 | 92 | 49 | 1,018 | 129.57 | G | 101.99 |
| Amatenango de la Frontera | 15 | 26 | 92 | 7 | 1,087 | 129.13 | G | 101.99 |
| Amatenango del Valle | 16 | 32 | 92 | 26 | 1,182 | 126.63 | G | 101.99 |
| Amatenango de la Paz | 15 | 52 | 92 | 43 | 1,064 | 127.39 | G | 101.99 |
| Amatitlan | 16 | 11 | 93 | 54 | 1,016 | 121.38 | G | 101.99 |
| Bernal de Quampo | 15 | 27 | 92 | 9 | 1,211 | 129.02 | G | 101.99 |
| Bella Vista | 15 | 35 | 92 | 15 | 1,157 | 122.61 | G | 101.99 |
| Bernabui | 16 | 48 | 93 | 17 | 1,041 | 121.61 | G | 101.99 |
| Bonhú | 17 | 0 | 92 | 54 | 1,116 | 125.03 | G | 101.99 |
| Bosque, El | 17 | 4 | 92 | 43 | 1,106 | 125.23 | G | 101.99 |
| Cahuatan | 14 | 39 | 92 | 30 | 1,048 | 129.81 | G | 101.99 |
| Catazap | 17 | 41 | 92 | 1 | 1,011 | 125.43 | G | 101.99 |
| Cintalapa de Figueroa | 16 | 42 | 93 | 43 | 1,039 | 123.95 | G | 101.99 |
| Copilla | 17 | 8 | 93 | 30 | 1,163 | 127.26 | G | 101.99 |
| Comitan de Dominguez | 16 | 15 | 92 | 8 | 1,166 | 127.63 | G | 101.99 |
| Concepcion, La | 16 | 7 | 92 | 41 | 1,044 | 126.89 | G | 101.99 |
| Copanulá | 17 | 6 | 93 | 13 | 1,045 | 127.92 | G | 101.99 |
| Chakibutan | 16 | 58 | 92 | 37 | 1,116 | 125.38 | G | 101.99 |
| Chimalá | 16 | 47 | 92 | 41 | 1,226 | 125.76 | G | 101.99 |
| Chimal | 16 | 39 | 92 | 15 | 1,211 | 126.77 | G | 101.99 |

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

| Municipio (Ciudad) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud Elevación | Área | | Tasa de Baza al 0.01% |
|----------------------|---------------|---------|----------------|---------|----------------------|-----------|------|--------------------------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | Elevación | Área | |
| Chapultepec | 17 | 20 | 93 | 8 | 1,062 | 125.54 | G | 101.99 |
| Chimalbá | 16 | 58 | 92 | 58 | 1,152 | 125.55 | G | 101.99 |
| Chiapala de Corzo | 16 | 42 | 92 | 0 | 1,042 | 125.31 | G | 101.99 |
| Chiapilla | 16 | 34 | 92 | 47 | 1,053 | 126.06 | G | 101.99 |
| Chicasen | 16 | 58 | 93 | 6 | 1,026 | 124.69 | G | 101.99 |
| Chicomucel | 15 | 45 | 92 | 17 | 1,036 | 124.24 | G | 101.99 |
| Chikón | 17 | 6 | 92 | 16 | 1,087 | 124.08 | G | 101.99 |
| Chimula | 15 | 19 | 92 | 49 | 1,016 | 125.76 | G | 101.99 |
| Ciudad de Comalapa | 17 | 17 | 93 | 16 | 1,066 | 125.86 | G | 101.99 |
| Comalapa | 15 | 47 | 92 | 8 | 1,066 | 126.67 | G | 101.99 |
| Frontera Hidalgo | 14 | 47 | 92 | 10 | 1,016 | 125.21 | G | 101.99 |
| Grandera, La | 15 | 30 | 92 | 14 | 1,194 | 128.78 | G | 101.99 |
| Huachucan | 15 | 1 | 92 | 23 | 1,015 | 129.39 | G | 101.99 |
| Huixtán | 16 | 43 | 92 | 27 | 1,199 | 126.30 | G | 101.99 |
| Huitupan | 17 | 10 | 92 | 41 | 1,013 | 125.13 | G | 101.99 |
| Huixtla | 15 | 9 | 92 | 28 | 1,015 | 127.81 | G | 101.99 |
| Independencia, La | 16 | 15 | 92 | 2 | 1,155 | 127.83 | G | 101.99 |
| Ihuatan | 17 | 18 | 93 | 1 | 1,053 | 127.72 | G | 101.99 |
| Isla Graciana | 17 | 26 | 93 | 6 | 1,115 | 124.93 | G | 101.99 |
| Istapa | 16 | 48 | 92 | 54 | 1,112 | 125.33 | G | 101.99 |
| Istapangosa | 17 | 30 | 93 | 0 | 1,018 | 124.01 | G | 101.99 |
| Jacupulá | 16 | 40 | 93 | 39 | 1,054 | 124.85 | G | 101.99 |
| Jicotil | 17 | 4 | 92 | 32 | 1,165 | 124.96 | G | 101.99 |
| Juárez | 17 | 36 | 93 | 12 | 1,014 | 123.48 | G | 101.99 |
| Larrainzar | 16 | 53 | 92 | 43 | 1,211 | 125.53 | G | 101.99 |
| Libertad, La | 17 | 11 | 91 | 43 | 1,012 | 126.04 | G | 101.99 |
| Marsatopos | 15 | 26 | 92 | 54 | 1,018 | 127.70 | G | 101.99 |
| Margaritas, Las | 16 | 19 | 91 | 59 | 1,152 | 127.80 | G | 101.99 |
| Mazapa de Madero | 15 | 23 | 92 | 11 | 1,111 | 129.08 | G | 101.99 |
| Mazatan | 14 | 52 | 92 | 27 | 1,012 | 129.55 | G | 101.99 |
| Melapa de Dominguez | 14 | 50 | 92 | 11 | 1,011 | 125.73 | G | 101.99 |
| Mitontes | 16 | 52 | 92 | 38 | 1,182 | 125.72 | G | 101.99 |
| Motomil de Mendoza | 15 | 22 | 92 | 15 | 1,216 | 128.99 | G | 101.99 |
| Nolas Ruiz | 16 | 26 | 92 | 35 | 1,071 | 126.53 | G | 101.99 |
| Ocosingo | 16 | 54 | 92 | 6 | 1,041 | 126.05 | G | 101.99 |
| Ocoyotepec | 17 | 13 | 93 | 10 | 1,145 | 125.15 | G | 101.99 |
| Ocosingo de Figueroa | 16 | 46 | 93 | 22 | 1,082 | 124.51 | G | 101.99 |
| Ocosingo | 17 | 24 | 93 | 20 | 1,011 | 123.55 | G | 101.99 |
| Ocosingo | 16 | 56 | 93 | 6 | 1,052 | 124.74 | G | 101.99 |
| Ocosingo | 16 | 47 | 92 | 21 | 1,216 | 126.17 | G | 101.99 |

| Municipio (Chihuahua) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud | Área | | Tasa de lluvia | |
|---|---------------|---------|----------------|---------|---------|-----------|-------|----------------|--------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | Elevación | Área | ZONA | mm/año |
| Abasco | 27 | 3 | 106 | 41 | 196 | 6226 | 18681 | D1 | 39928 |
| Agua Prieta | 26 | 29 | 107 | 46 | 198 | 6226 | 18681 | D1 | 39928 |
| Amal | 28 | 37 | 106 | 41 | 198 | 6226 | 18681 | D1 | 39928 |
| San Mateo Jiménez | 27 | 8 | 104 | 55 | 198 | 6226 | 18681 | F | 26011 |
| Arizpe | 27 | 44 | 106 | 29 | 198 | 6226 | 18681 | F | 26011 |
| Salinas | 28 | 25 | 105 | 26 | 192 | 6226 | 18681 | F | 26011 |
| Matamoros Lopez | 27 | 0 | 105 | 2 | 192 | 6226 | 18681 | D2 | 51133 |
| Madre de Dios | 29 | 12 | 106 | 8 | 211 | 6226 | 18681 | F | 26011 |
| Marquelia | 27 | 51 | 105 | 0 | 199 | 6226 | 18681 | D1 | 39928 |
| María de las Nieves | 29 | 6 | 105 | 54 | 199 | 6226 | 18681 | F | 26011 |
| Matías | 28 | 51 | 107 | 45 | 199 | 6226 | 18681 | D1 | 39928 |
| Marina Matamoros | 26 | 46 | 105 | 15 | 174 | 6226 | 18681 | D2 | 51133 |
| Pedro Mesquero | 28 | 16 | 105 | 29 | 195 | 6226 | 18681 | F | 26011 |
| Morelos | 26 | 40 | 107 | 41 | 058 | 6226 | 18681 | D2 | 51133 |
| Moris | 28 | 9 | 108 | 31 | 076 | 6226 | 18681 | F | 26011 |
| Namagan | 29 | 15 | 107 | 25 | 184 | 6226 | 18681 | D1 | 39928 |
| Nezahualcoyotl | 27 | 28 | 106 | 44 | 194 | 6226 | 18681 | D1 | 39928 |
| Nuevo Casas Grandes | 30 | 25 | 107 | 54 | 186 | 6226 | 18681 | F | 26011 |
| Michobampo | 28 | 12 | 108 | 22 | 171 | 6226 | 18681 | F | 26011 |
| Manuel Ortega | 29 | 34 | 104 | 24 | 08 | 6226 | 18681 | F | 26011 |
| Praxedis G. Guerrero | 31 | 22 | 106 | 0 | 11 | 6226 | 18681 | F | 26011 |
| San Andrés | 28 | 15 | 106 | 30 | 176 | 6226 | 18681 | D1 | 39928 |
| Santa Cruz de Rosales | 28 | 11 | 105 | 34 | 118 | 6226 | 18681 | F | 26011 |
| Valle del Rosario | 27 | 19 | 106 | 18 | 13 | 6226 | 18681 | D1 | 39928 |
| San Francisco de Buja | 27 | 54 | 106 | 11 | 164 | 6226 | 18681 | D1 | 39928 |
| San Francisco de Conchos | 27 | 15 | 105 | 20 | 121 | 6226 | 18681 | D2 | 51133 |
| San Francisco del Oro | 26 | 52 | 105 | 51 | 198 | 6226 | 18681 | D2 | 51133 |
| Santa Bárbara | 26 | 48 | 105 | 49 | 194 | 6226 | 18681 | D2 | 51133 |
| San Francisco Javier de Satoro | 27 | 57 | 106 | 6 | 138 | 6226 | 18681 | D1 | 39928 |
| Sauzillo | 28 | 2 | 105 | 17 | 118 | 6226 | 18681 | F | 26011 |
| Temohachi | 28 | 57 | 107 | 30 | 188 | 6226 | 18681 | D1 | 39928 |
| Tule, El | 27 | 1 | 106 | 16 | 158 | 6226 | 18681 | D1 | 39928 |
| Urique | 27 | 15 | 107 | 55 | 056 | 6226 | 18681 | D1 | 39928 |
| Uruachi | 27 | 52 | 108 | 13 | 136 | 6226 | 18681 | F | 26011 |
| Valle de Zaragoza | 27 | 27 | 105 | 49 | 134 | 6226 | 18681 | D2 | 51133 |
| Apéndice geográfico del Distrito Federal | | | | | | | | | |
| Azapoteco | 19 | 29 | 99 | 11 | 224 | 64462 | 20810 | D2 | 51133 |
| Coyula | 19 | 21 | 99 | 10 | 221 | 64568 | 20810 | D2 | 51133 |
| Cuajimalpa de Morelos | 19 | 21 | 99 | 18 | 276 | 64636 | 20778 | D2 | 51133 |
| Gustavo A. Madero | 19 | 29 | 99 | 7 | 224 | 64406 | 20810 | D2 | 51133 |
| Ixtacalco | 19 | 24 | 99 | 6 | 224 | 64482 | 20810 | D2 | 51133 |

| Municipio (Distrito Federal) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud | Área | | Tasa de lluvia | |
|---|---------------|---------|----------------|---------|---------|-----------|-------|----------------|--------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | Elevación | Área | ZONA | mm/año |
| Atlixpala | 19 | 21 | 99 | 6 | 224 | 64533 | 20826 | D2 | 51133 |
| Mexicaltzingo | 19 | 18 | 99 | 11 | 231 | 64655 | 20800 | D2 | 51133 |
| Milpa Alta | 19 | 11 | 99 | 1 | 242 | 64606 | 20806 | D2 | 51133 |
| Mixcoatl | 19 | 23 | 99 | 11 | 231 | 64542 | 20812 | D2 | 51133 |
| Huixtla | 19 | 17 | 99 | 6 | 224 | 64549 | 20826 | D2 | 51133 |
| Huixquilucan | 19 | 17 | 99 | 6 | 227 | 64636 | 20818 | D2 | 51133 |
| Nezahualcoyotl | 19 | 16 | 99 | 6 | 224 | 64618 | 20826 | D2 | 51133 |
| San Mateo | 19 | 22 | 99 | 6 | 224 | 64542 | 20812 | D2 | 51133 |
| Xochimilco | 19 | 26 | 99 | 6 | 224 | 64474 | 20804 | D2 | 51133 |
| Xiquipetlan | 19 | 24 | 99 | 11 | 225 | 64525 | 20810 | D2 | 51133 |
| Yerbanes | 19 | 25 | 99 | 7 | 224 | 64474 | 20814 | D2 | 51133 |
| Apéndice geográfico de Durango | | | | | | | | | |
| Amador Cantón | 24 | 32 | 104 | 47 | 196 | 60874 | 19054 | D1 | 39928 |
| Camala | 25 | 7 | 106 | 33 | 134 | 60478 | 18622 | D1 | 39928 |
| Coahuila de Zaragoza | 24 | 59 | 104 | 46 | 196 | 60361 | 19040 | D1 | 39928 |
| Comarcas de Centenario | 24 | 52 | 105 | 42 | 158 | 60268 | 19290 | D1 | 39928 |
| Victoria de Durango | 24 | 2 | 104 | 40 | 188 | 61418 | 19102 | D1 | 39928 |
| General Simón Bolívar | 24 | 41 | 105 | 15 | 131 | 60355 | 19409 | D1 | 39928 |
| Gocho Palacios | 25 | 14 | 105 | 30 | 115 | 59436 | 19102 | D1 | 39928 |
| Ciudad Guadalupe Victoria | 24 | 27 | 104 | 7 | 2 | 60851 | 19213 | D1 | 39928 |
| Guadalupe | 25 | 56 | 105 | 57 | 246 | 59471 | 18740 | D1 | 39928 |
| Villa Hidalgo | 26 | 15 | 104 | 55 | 17 | 58953 | 18961 | D2 | 51133 |
| Inde | 25 | 55 | 105 | 15 | 186 | 59381 | 18905 | D1 | 39928 |
| Ciudad Lerdo | 25 | 32 | 105 | 31 | 114 | 59477 | 19300 | D1 | 39928 |
| Miguel Alemán | 25 | 50 | 105 | 31 | 113 | 59216 | 19213 | D1 | 39928 |
| San Francisco del Mercural | 25 | 28 | 104 | 24 | 14 | 62003 | 19191 | D1 | 39928 |
| Nájar | 25 | 14 | 104 | 7 | 125 | 59448 | 19179 | D1 | 39928 |
| Noé de Dios | 25 | 51 | 104 | 15 | 173 | 61537 | 19209 | D1 | 39928 |
| Nuevo Ideal | 24 | 51 | 105 | 4 | 199 | 60529 | 18975 | D1 | 39928 |
| Villa Ocampo | 26 | 26 | 105 | 31 | 172 | 58841 | 18823 | D2 | 51133 |
| Santa María del Oro | 25 | 57 | 105 | 22 | 17 | 59367 | 18871 | D1 | 39928 |
| Oliver | 24 | 42 | 106 | 0 | 172 | 60856 | 18762 | D1 | 39928 |
| Francisco I. Madero | 24 | 24 | 104 | 19 | 196 | 60911 | 19169 | D1 | 39928 |
| Pan de Azúcar | 24 | 47 | 104 | 2 | 168 | 60437 | 19217 | D1 | 39928 |
| Villa Unión | 25 | 58 | 104 | 3 | 19 | 61361 | 19251 | D1 | 39928 |
| Tula, El | 25 | 47 | 105 | 22 | 236 | 61813 | 18943 | D1 | 39928 |
| Rodriguez | 25 | 11 | 104 | 34 | 131 | 60196 | 19078 | D1 | 39928 |
| San Bernardino | 26 | 0 | 105 | 31 | 164 | 59334 | 18835 | D2 | 51133 |
| Tayahua | 24 | 6 | 105 | 56 | 052 | 61562 | 18796 | D1 | 39928 |
| San Juan del Río del Centenario del Norte | 24 | 36 | 102 | 47 | 152 | 60297 | 19510 | D1 | 39928 |

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

| Municipio (México) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud (metros) | Área | | | Tipo de Balsa |
|--|---------------|---------|----------------|---------|------------------|-----------|--------|------|---------------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | Extensión | Área | ZONA | |
| Estado de San Antonio | 21 | 8 | 102 | 0 | 152 | 65 913 | 100 31 | D2 | 51 133 |
| Estado de Tula | 19 | 47 | 106 | 16 | 174 | 65 917 | 101 20 | D1 | 50 928 |
| Valle de Guadalupe | 21 | 1 | 102 | 5 | 184 | 64 253 | 107 84 | D2 | 51 133 |
| Valle de Guadalupe | 19 | 46 | 102 | 5 | 186 | 65 36 | 107 81 | D1 | 50 928 |
| San Gabriel | 19 | 43 | 105 | 46 | 128 | 66 021 | 105 72 | D1 | 50 928 |
| Valle de Guadalupe | 20 | 25 | 105 | 40 | 135 | 65 216 | 105 52 | D1 | 50 928 |
| Valle de Guadalupe | 21 | 36 | 105 | 56 | 176 | 65 473 | 101 68 | D2 | 51 133 |
| Valle de Guadalupe | 21 | 46 | 102 | 55 | 193 | 65 325 | 107 41 | D2 | 51 133 |
| Estados Unidos Mexicanos | 21 | 8 | 102 | 41 | 185 | 64 128 | 107 57 | D2 | 51 133 |
| Estados Unidos Mexicanos | 21 | 11 | 102 | 55 | 138 | 64 156 | 107 03 | D2 | 51 133 |
| Zapotlán de Méndez | 20 | 11 | 103 | 34 | 133 | 65 422 | 105 92 | D1 | 50 928 |
| Zapotlán | 20 | 43 | 103 | 24 | 156 | 64 833 | 106 02 | D1 | 50 928 |
| Zapotlán | 19 | 37 | 103 | 25 | 133 | 66 082 | 106 79 | D1 | 50 928 |
| Zapotlán de Vadillo | 19 | 33 | 103 | 49 | 114 | 66 259 | 105 73 | D1 | 50 928 |
| Zapotlán del Rey | 20 | 28 | 102 | 55 | 155 | 64 959 | 107 48 | D2 | 51 133 |
| Zapotlán | 20 | 37 | 103 | 4 | 152 | 64 841 | 106 97 | D1 | 50 928 |
| Asignación proporcional de México | | | | | | | | | |
| Acambay | 19 | 57 | 99 | 51 | 256 | 64 286 | 205 76 | D2 | 51 133 |
| Acadman de Nezahualcóyotl | 19 | 38 | 98 | 55 | 225 | 64 149 | 208 37 | D2 | 51 133 |
| Acuña de Espinosa | 20 | 6 | 99 | 50 | 245 | 64 121 | 205 64 | D2 | 51 133 |
| Almoleza de Algeciras | 18 | 52 | 99 | 54 | 196 | 65 435 | 206 86 | D2 | 51 133 |
| Villa de Almoleza de Juárez | 19 | 22 | 99 | 45 | 276 | 64 814 | 206 65 | D2 | 51 133 |
| Almoleza del Ran | 19 | 10 | 99 | 29 | 276 | 64 917 | 207 34 | D2 | 51 133 |
| Amarok de Beretta | 19 | 15 | 101 | 1 | 232 | 65 095 | 206 12 | D2 | 51 133 |
| Amatitlán | 18 | 41 | 100 | 11 | 18 | 65 765 | 206 15 | D2 | 51 133 |
| Amecameca de Juárez | 19 | 8 | 98 | 46 | 248 | 64 578 | 209 31 | D2 | 51 133 |
| Apaxtlan de Ocampo | 19 | 58 | 99 | 10 | 218 | 63 946 | 207 39 | D2 | 51 133 |
| San Salvador Atemec | 19 | 33 | 98 | 55 | 224 | 64 234 | 208 47 | D2 | 51 133 |
| Santa Cruz Atzacan | 19 | 11 | 99 | 29 | 239 | 64 9 | 207 32 | D2 | 51 133 |
| Ciudad Lopez Mateos | 19 | 33 | 99 | 14 | 228 | 64 907 | 207 71 | D2 | 51 133 |
| Atzacan de Fabala | 19 | 48 | 99 | 52 | 237 | 64 45 | 208 88 | D2 | 51 133 |
| Atzacan de Victoria | 19 | 2 | 98 | 47 | 234 | 64 688 | 209 11 | D2 | 51 133 |
| Atzacan | 19 | 43 | 98 | 45 | 235 | 63 978 | 208 67 | D2 | 51 133 |
| Atzacan de Gabriel Ramos Millán | 19 | 8 | 98 | 48 | 244 | 64 595 | 209 25 | D2 | 51 133 |
| Calmayá de Díaz González | 19 | 10 | 99 | 37 | 268 | 64 964 | 207 21 | D2 | 51 133 |
| Capulhuacán de Miraflores | 19 | 12 | 99 | 28 | 262 | 64 875 | 207 35 | D2 | 51 133 |
| San Francisco Cuauclac | 19 | 37 | 99 | 5 | 225 | 64 252 | 207 99 | D2 | 51 133 |
| Coahuila de Zaragoza | 18 | 55 | 99 | 46 | 226 | 65 317 | 207 13 | D2 | 51 133 |
| Coahuila | 19 | 14 | 98 | 52 | 226 | 64 51 | 208 96 | D2 | 51 133 |
| Coahuila | 19 | 47 | 99 | 12 | 23 | 64 141 | 207 52 | D2 | 51 133 |
| Coahuila | 19 | 40 | 99 | 11 | 224 | 64 252 | 207 69 | D2 | 51 133 |

TESIS CON AYUDA DE ORIGEN

| Municipio (México) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud (metros) | Área | | | Tipo de Balsa |
|--------------------|---------------|---------|----------------|---------|------------------|-----------|--------|------|---------------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | Extensión | Área | ZONA | |
| Estado de Durango | 19 | 36 | 98 | 54 | 224 | 64 514 | 208 84 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 19 | 49 | 99 | 32 | 276 | 64 275 | 206 68 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 19 | 12 | 98 | 54 | 226 | 64 925 | 207 56 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 19 | 33 | 98 | 53 | 226 | 64 217 | 208 35 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 19 | 2 | 98 | 54 | 223 | 64 561 | 208 66 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 19 | 33 | 98 | 54 | 224 | 64 226 | 208 51 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 19 | 25 | 98 | 57 | 224 | 64 387 | 208 34 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 19 | 18 | 101 | 9 | 22 | 65 106 | 205 73 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 19 | 56 | 98 | 3 | 225 | 64 252 | 208 09 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 18 | 57 | 98 | 45 | 244 | 64 754 | 209 59 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 19 | 40 | 98 | 12 | 226 | 64 089 | 207 46 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 19 | 54 | 98 | 5 | 226 | 63 962 | 207 66 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 19 | 22 | 98 | 21 | 268 | 64 644 | 207 64 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 19 | 33 | 99 | 25 | 238 | 64 489 | 207 26 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 19 | 19 | 98 | 53 | 225 | 64 454 | 208 82 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 18 | 51 | 98 | 41 | 188 | 65 344 | 207 42 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 19 | 16 | 100 | 16 | 164 | 65 196 | 205 47 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 19 | 34 | 98 | 46 | 254 | 64 645 | 206 19 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 19 | 11 | 98 | 25 | 272 | 64 866 | 207 69 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 19 | 45 | 98 | 6 | 234 | 64 124 | 207 80 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 19 | 57 | 98 | 32 | 244 | 64 134 | 206 53 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 19 | 32 | 99 | 24 | 275 | 64 498 | 207 32 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 19 | 33 | 98 | 36 | 275 | 64 38 | 206 81 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 19 | 42 | 98 | 47 | 268 | 64 514 | 206 20 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 19 | 3 | 99 | 32 | 263 | 65 063 | 207 36 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 19 | 6 | 98 | 53 | 254 | 64 674 | 209 09 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 19 | 17 | 98 | 31 | 256 | 64 814 | 207 33 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 18 | 57 | 99 | 30 | 174 | 65 148 | 207 76 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 19 | 42 | 99 | 9 | 224 | 64 201 | 207 73 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 19 | 15 | 99 | 36 | 261 | 64 89 | 207 16 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 19 | 13 | 98 | 35 | 259 | 64 916 | 207 24 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 19 | 47 | 99 | 4 | 222 | 64 124 | 207 89 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 19 | 57 | 99 | 19 | 239 | 64 371 | 207 43 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 19 | 47 | 98 | 42 | 245 | 63 884 | 208 20 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 19 | 16 | 99 | 28 | 258 | 64 816 | 207 47 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 18 | 59 | 99 | 25 | 234 | 65 071 | 207 93 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 19 | 48 | 101 | 8 | 274 | 64 575 | 205 22 | D2 | 51 133 |
| Estado de Durango | 19 | 42 | 98 | 45 | 236 | 63 995 | 206 68 | D2 | 51 133 |

| Municipio (Municipio) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud (metros) | Clima | | | Tasa de lluvia (mm/año) |
|--|---------------|---------|----------------|---------|------------------|-------------|---------|------|-------------------------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | Temperatura | Humedad | ZONA | |
| Yucatán | 20 | 20 | 102 | 17 | 153 | 64.889 | 199.24 | D2 | 51.133 |
| Zacapa | 19 | 09 | 101 | 47 | 1.99 | 65.264 | 208.01 | D1 | 39.928 |
| Zamora de Hidalgo | 19 | 09 | 102 | 17 | 1.56 | 65.272 | 199.51 | D1 | 39.928 |
| Zapotlán | 20 | 00 | 102 | 0 | 1.81 | 64.967 | 203.42 | D2 | 51.133 |
| Zapotlán de Escobedo | 19 | 32 | 100 | 50 | 1.88 | 64.819 | 203.40 | D2 | 51.133 |
| Zozocolandero | 19 | 26 | 101 | 55 | 1.38 | 65.732 | 201.01 | D1 | 39.928 |
| Iturbide Zozocolandero | 19 | 26 | 101 | 22 | 1.91 | 65.066 | 205.04 | D2 | 51.133 |
| Pueblo Viejo | 20 | 18 | 103 | 36 | 1.68 | 64.62 | 203.04 | D2 | 51.133 |
| Aspectos geográficos de Morelos | | | | | | | | | |
| Amacuzac | 18 | 36 | 99 | 22 | 0.19 | 65.157 | 208.52 | D2 | 51.133 |
| Atlixolan | 18 | 36 | 98 | 54 | 1.64 | 64.851 | 209.25 | D2 | 51.133 |
| Avila van | 18 | 30 | 98 | 45 | 1.01 | 65.206 | 210.17 | D2 | 51.133 |
| Cd. Ayala | 18 | 46 | 98 | 59 | 1.22 | 65.064 | 209.26 | D2 | 51.133 |
| Cuailán del Río | 18 | 45 | 99 | 26 | 1.01 | 65.319 | 208.17 | D2 | 51.133 |
| Cuauhtla | 18 | 49 | 98 | 57 | 1.1 | 64.996 | 209.28 | D2 | 51.133 |
| Cuernavaca | 18 | 55 | 99 | 14 | 1.51 | 65.045 | 208.46 | D2 | 51.133 |
| Emiliano Zapata | 18 | 50 | 99 | 11 | 1.24 | 65.103 | 208.68 | D2 | 51.133 |
| Huixtla | 19 | 2 | 99 | 16 | 2.55 | 64.913 | 208.24 | D2 | 51.133 |
| Janteteco | 18 | 41 | 98 | 46 | 1.42 | 64.998 | 209.85 | D2 | 51.133 |
| Juxtepec | 18 | 51 | 99 | 11 | 1.35 | 65.052 | 208.62 | D2 | 51.133 |
| Jopitla | 18 | 17 | 99 | 11 | 0.89 | 65.323 | 208.95 | D2 | 51.133 |
| Joncotepec | 18 | 41 | 98 | 48 | 1.29 | 65.049 | 209.81 | D2 | 51.133 |
| Mazatepec | 18 | 44 | 99 | 22 | 0.98 | 65.301 | 208.36 | D2 | 51.133 |
| Macatán | 18 | 46 | 99 | 22 | 1 | 65.267 | 208.31 | D2 | 51.133 |
| Ocuilco | 18 | 51 | 98 | 47 | 1.92 | 64.839 | 209.60 | D2 | 51.133 |
| Puerto de Ixtla | 18 | 37 | 99 | 19 | 0.19 | 65.394 | 208.62 | D2 | 51.133 |
| Temuco | 18 | 51 | 99 | 14 | 1.28 | 65.112 | 208.54 | D2 | 51.133 |
| Tepicongo | 18 | 36 | 98 | 51 | 1.16 | 65.16 | 209.79 | D2 | 51.133 |
| Tepoztlán | 18 | 59 | 99 | 6 | 1.7 | 64.907 | 208.70 | D2 | 51.133 |
| Tetela | 18 | 44 | 99 | 24 | 0.98 | 65.318 | 208.27 | D2 | 51.133 |
| Tetela del Volcán | 18 | 54 | 98 | 44 | 2.22 | 64.795 | 209.70 | D2 | 51.133 |
| Tlaxiahuacán | 19 | 0 | 99 | 0 | 2.06 | 64.837 | 208.93 | D2 | 51.133 |
| Tlaxiahuacán | 18 | 41 | 99 | 7 | 0.95 | 65.22 | 209.04 | D2 | 51.133 |
| Tlaxiahuacán | 18 | 38 | 99 | 10 | 0.91 | 65.297 | 208.98 | D2 | 51.133 |
| Tlaxiahuacán | 18 | 57 | 98 | 59 | 1.62 | 64.879 | 209.03 | D2 | 51.133 |
| Totolapan | 18 | 59 | 98 | 55 | 1.9 | 64.81 | 209.15 | D2 | 51.133 |
| Xochitlán | 18 | 47 | 99 | 14 | 1.11 | 65.18 | 208.62 | D2 | 51.133 |
| Xochitlán | 18 | 51 | 99 | 4 | 1.21 | 64.911 | 208.91 | D2 | 51.133 |
| Xochitlán | 18 | 51 | 98 | 52 | 1.58 | 64.884 | 209.40 | D2 | 51.133 |
| Zacatepec de Hidalgo | 18 | 39 | 99 | 11 | 0.92 | 65.289 | 208.91 | D2 | 51.133 |
| Zacatlán de Amilpas | 18 | 47 | 98 | 46 | 1.64 | 64.93 | 209.76 | D2 | 51.133 |

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

| Municipio (Municipio) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud (metros) | Clima | | | Tasa de lluvia (mm/año) |
|---|---------------|---------|----------------|---------|------------------|-------------|---------|------|-------------------------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | Temperatura | Humedad | ZONA | |
| Temuco | 18 | 46 | 98 | 47 | 1.58 | 64.956 | 209.74 | D2 | 51.133 |
| Aspectos geográficos de Nayarit | | | | | | | | | |
| Agua Prieta | 22 | 30 | 105 | 22 | 0.01 | 63.295 | 189.91 | D1 | 39.928 |
| Atlixolan | 21 | 5 | 104 | 29 | 0.99 | 64.732 | 192.94 | D1 | 39.928 |
| Amatitlán de Casas | 20 | 48 | 104 | 24 | 0.74 | 65.014 | 193.30 | D1 | 39.928 |
| Compostela | 21 | 14 | 104 | 54 | 0.86 | 64.641 | 191.73 | D1 | 39.928 |
| Huapalám | 22 | 36 | 105 | 19 | 0.06 | 63.133 | 190.00 | D1 | 39.928 |
| Juárez del Fuerte | 21 | 2 | 104 | 22 | 1.04 | 64.742 | 195.26 | D1 | 39.928 |
| Juárez | 21 | 6 | 104 | 26 | 1.08 | 64.684 | 194.01 | D1 | 39.928 |
| Juárez | 21 | 27 | 104 | 54 | 0.99 | 64.395 | 191.62 | D1 | 39.928 |
| Juárez | 22 | 15 | 104 | 31 | 0.42 | 65.404 | 192.21 | D2 | 51.133 |
| La Compañía | 22 | 7 | 105 | 12 | 0.02 | 63.699 | 190.52 | D1 | 39.928 |
| Rosamorada | 21 | 37 | 105 | 9 | 0.03 | 63.879 | 190.73 | D1 | 39.928 |
| San Blas | 21 | 32 | 105 | 17 | 0.01 | 64.38 | 193.57 | D1 | 39.928 |
| San Pedro Lagunillas | 21 | 13 | 104 | 45 | 1.3 | 64.626 | 192.14 | D1 | 39.928 |
| Santa María del Oro | 21 | 20 | 104 | 15 | 1.16 | 64.456 | 192.51 | D1 | 39.928 |
| Santiago Ixcuintla | 21 | 49 | 105 | 12 | 0.64 | 64.041 | 190.66 | D1 | 39.928 |
| Tehuacán | 22 | 24 | 105 | 27 | 0.01 | 63.424 | 189.76 | D1 | 39.928 |
| Tepic | 21 | 31 | 104 | 54 | 0.92 | 64.319 | 191.59 | D1 | 39.928 |
| Tuxtlán | 21 | 37 | 105 | 18 | 0.01 | 63.949 | 190.34 | D1 | 39.928 |
| Tuxtlán | 21 | 39 | 104 | 0 | 1.42 | 64.33 | 194.06 | D2 | 51.133 |
| Valle de Banderas | 20 | 48 | 105 | 15 | 0.06 | 65.208 | 191.00 | D1 | 39.928 |
| Aspectos geográficos de Nuevo León | | | | | | | | | |
| Abasco | 25 | 57 | 100 | 24 | 0.5 | 58.114 | 199.48 | D1 | 39.928 |
| Agua Prieta | 26 | 19 | 99 | 32 | 0.18 | 57.41 | 201.02 | D1 | 39.928 |
| Altamira, Los | 26 | 4 | 99 | 12 | 0.09 | 57.552 | 201.86 | D1 | 39.928 |
| Ciudad de Allende | 25 | 17 | 101 | 1 | 0.46 | 58.696 | 200.73 | D1 | 39.928 |
| Analco | 27 | 14 | 100 | 8 | 0.2 | 56.635 | 199.22 | D1 | 39.928 |
| Ciudad Apodaca | 25 | 47 | 100 | 11 | 0.43 | 58.218 | 203.04 | D1 | 39.928 |
| Aramberme | 24 | 6 | 99 | 49 | 1.1 | 59.887 | 202.03 | D2 | 51.133 |
| Bustamante | 26 | 32 | 100 | 30 | 0.47 | 57.515 | 198.91 | D1 | 39.928 |
| Cadereyta Juárez | 25 | 35 | 100 | 0 | 0.52 | 58.568 | 203.56 | D2 | 51.133 |
| Carmen | 25 | 56 | 101 | 22 | 0.5 | 58.12 | 199.56 | D1 | 39.928 |
| Ciudad Cerralvo | 26 | 5 | 99 | 37 | 0.29 | 57.691 | 201.01 | D1 | 39.928 |
| Cerro de Flores | 25 | 57 | 101 | 10 | 0.4 | 58.012 | 199.97 | D1 | 39.928 |
| China | 25 | 42 | 99 | 14 | 0.14 | 57.955 | 202.06 | D2 | 51.133 |
| Doctor Arroyo | 23 | 40 | 101 | 11 | 1.72 | 60.494 | 201.57 | D2 | 51.133 |
| Doctor Coss | 25 | 55 | 99 | 11 | 0.11 | 57.705 | 202.00 | D2 | 51.133 |
| Doctor González | 25 | 52 | 99 | 57 | 0.36 | 58.045 | 203.47 | D2 | 51.133 |
| Guadalupe | 24 | 49 | 101 | 5 | 1.66 | 59.222 | 203.92 | D2 | 51.133 |
| García | 25 | 49 | 101 | 36 | 0.71 | 58.327 | 199.15 | D1 | 39.928 |

| Municipio (Nombre en Letras) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud (msnm) | Área (km²) | | Población | Densidad (hab/km²) | Código de Municipio |
|------------------------------|---------------|---------|----------------|---------|----------------|------------|---------|-----------|--------------------|---------------------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | Área | Altitud | | | |
| San Pedro Garza García | 25 | 40 | 100 | 24 | 064 | 58 42 | 149 67 | D1 | 39 928 | |
| General Bravo | 25 | 48 | 99 | 11 | 013 | 57 829 | 202 04 | D2 | 51 133 | |
| Ciudad General Escobedo | 25 | 49 | 100 | 19 | 015 | 58 229 | 199 74 | D1 | 39 928 | |
| Ciudad General Terán | 25 | 13 | 99 | 41 | 011 | 58 697 | 201 45 | D2 | 51 133 | |
| General Treviño | 26 | 13 | 99 | 29 | 015 | 57 499 | 201 19 | D1 | 39 928 | |
| General Zaragoza | 25 | 48 | 99 | 46 | 1 15 | 60 01 | 202 25 | D2 | 51 133 | |
| General Zuazua | 25 | 34 | 100 | 6 | 0 56 | 58 163 | 200 14 | D1 | 39 928 | |
| Guadalupe | 25 | 41 | 100 | 16 | 015 | 58 153 | 199 94 | D1 | 39 928 | |
| Hermosillo, Son. | 25 | 54 | 99 | 21 | 015 | 57 805 | 200 58 | D2 | 51 133 | |
| Huaparar | 25 | 58 | 100 | 1 | 0 49 | 57 561 | 200 27 | D1 | 39 928 | |
| Huatabampo | 24 | 33 | 99 | 40 | 0 4 | 58 993 | 201 76 | D2 | 51 133 | |
| Burbude | 24 | 43 | 99 | 54 | 1 46 | 59 26 | 201 39 | D2 | 51 133 | |
| Ciudad Benito Juárez | 25 | 39 | 100 | 6 | 0 17 | 58 332 | 200 31 | D1 | 39 928 | |
| Lamparos de Nacampo | 27 | 2 | 100 | 30 | 0 12 | 56 973 | 198 61 | D1 | 39 928 | |
| Llaneros | 24 | 52 | 99 | 14 | 0 15 | 58 972 | 200 96 | D2 | 51 133 | |
| Mam | 25 | 53 | 100 | 2 | 0 4 | 58 057 | 200 29 | D1 | 39 928 | |
| Michoacán Quampo | 26 | 1 | 99 | 11 | 0 25 | 57 702 | 201 17 | D1 | 39 928 | |
| Moré y Norega | 24 | 25 | 100 | 7 | 1 67 | 60 736 | 200 91 | D2 | 51 133 | |
| Mina | 26 | 0 | 100 | 32 | 0 6 | 58 105 | 199 17 | D1 | 39 928 | |
| Montemorelos | 25 | 11 | 99 | 50 | 0 43 | 58 735 | 201 19 | D2 | 51 133 | |
| Monterrey | 25 | 40 | 100 | 19 | 0 54 | 58 391 | 199 84 | D1 | 39 928 | |
| Parás | 26 | 30 | 99 | 11 | 0 14 | 57 208 | 200 93 | D1 | 39 928 | |
| Progreso | 25 | 47 | 100 | 1 | 0 33 | 58 171 | 200 32 | D1 | 39 928 | |
| Ramones, Son. | 25 | 42 | 99 | 38 | 0 21 | 58 107 | 200 24 | D2 | 51 133 | |
| Rayones | 25 | 1 | 100 | 4 | 0 84 | 59 001 | 200 82 | D1 | 39 928 | |
| Ciudad Salinas Hidalgo | 26 | 30 | 100 | 11 | 0 3 | 57 444 | 199 58 | D1 | 39 928 | |
| Salinas Victoria | 25 | 58 | 100 | 18 | 0 44 | 58 061 | 199 68 | D1 | 39 928 | |
| San Nicolás de los Garza | 25 | 44 | 100 | 18 | 0 5 | 58 313 | 199 83 | D1 | 39 928 | |
| Hidalgo | 25 | 59 | 100 | 27 | 0 54 | 58 095 | 199 36 | D1 | 39 928 | |
| Ciudad Santa Catarina | 25 | 41 | 100 | 28 | 0 68 | 58 425 | 199 52 | D1 | 39 928 | |
| Santiago | 25 | 26 | 100 | 9 | 0 48 | 58 583 | 200 35 | D1 | 39 928 | |
| Vallejo | 26 | 40 | 99 | 59 | 0 27 | 57 195 | 199 88 | D1 | 39 928 | |
| Ciudad de Villahermosa | 26 | 30 | 100 | 26 | 0 42 | 57 529 | 199 07 | D1 | 39 928 | |
| Cabullá | 17 | 32 | 98 | 17 | 1 33 | 65 895 | 212 63 | D2 | 51 133 | |
| Guadalupe de Ramírez | 17 | 45 | 98 | 10 | 1 15 | 65 614 | 212 60 | D2 | 51 133 | |
| Irapuato, Nieves | 17 | 11 | 98 | 1 | 2 08 | 69 771 | 213 22 | D2 | 51 133 | |
| San Agustín Atemajac | 17 | 36 | 98 | 1 | 1 28 | 65 627 | 213 18 | D2 | 51 133 | |
| San Andrés Tepetlapa | 17 | 40 | 98 | 23 | 1 46 | 65 824 | 212 19 | D2 | 51 133 | |
| San Francisco Tlaxiaco | 17 | 29 | 98 | 16 | 1 38 | 65 931 | 212 74 | D2 | 51 133 | |
| San Juan Bautista Tlaxiaco | 17 | 37 | 98 | 21 | 1 32 | 65 651 | 212 15 | D2 | 51 133 | |

| Municipio (Nombre en Letras) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud (msnm) | Área (km²) | | Población | Densidad (hab/km²) | Código de Municipio |
|--------------------------------------|---------------|---------|----------------|---------|----------------|------------|---------|-----------|--------------------|---------------------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | Área | Altitud | | | |
| San Juan Coscutlán | 17 | 51 | 98 | 17 | 1 38 | 65 585 | 212 18 | D2 | 51 133 | |
| San Juan Huastlepec | 17 | 44 | 98 | 17 | 1 76 | 65 699 | 212 34 | D2 | 51 133 | |
| San Lorenzo Victoria | 17 | 40 | 98 | 7 | 1 19 | 65 965 | 212 81 | D2 | 51 133 | |
| San Mateo Nejumat | 17 | 39 | 98 | 25 | 1 34 | 65 86 | 212 14 | D2 | 51 133 | |
| San Miguel Ahucshuetlán | 17 | 40 | 98 | 19 | 1 57 | 65 784 | 212 36 | D2 | 51 133 | |
| San Nicolás Hidalgo | 17 | 47 | 98 | 8 | 1 1 | 65 561 | 212 61 | D2 | 51 133 | |
| Santa Cruz de Bravo | 17 | 35 | 98 | 15 | 1 64 | 65 806 | 212 72 | D2 | 51 133 | |
| Santiago del Río | 17 | 27 | 98 | 5 | 1 6 | 65 856 | 213 21 | D2 | 51 133 | |
| Santiago Tamazula | 17 | 40 | 98 | 13 | 1 26 | 65 725 | 212 60 | D2 | 51 133 | |
| Santiago Yaveahui | 17 | 36 | 98 | 12 | 1 45 | 65 78 | 212 74 | D2 | 51 133 | |
| Silaoyapam | 17 | 50 | 98 | 8 | 1 62 | 65 838 | 213 04 | D2 | 51 133 | |
| Zapotlán Lagunas | 17 | 45 | 98 | 23 | 1 54 | 65 742 | 212 08 | D2 | 51 133 | |
| Asunción Cuastlepec | 17 | 56 | 97 | 40 | 1 26 | 65 134 | 213 53 | D2 | 51 133 | |
| Hermosa y Ciudad de Huapapam de León | 17 | 48 | 97 | 46 | 1 6 | 65 324 | 213 49 | D2 | 51 133 | |
| Cosolepe | 18 | 8 | 97 | 47 | 1 82 | 65 011 | 212 96 | D2 | 51 133 | |
| Erasmillo de Trujano | 17 | 54 | 98 | 8 | 1 02 | 65 447 | 212 47 | D2 | 51 133 | |
| Hermosillo de Juárez | 17 | 52 | 98 | 8 | 1 08 | 65 48 | 212 52 | D2 | 51 133 | |
| San Andrés Dzoncui | 17 | 41 | 97 | 44 | 1 65 | 65 416 | 213 73 | D2 | 51 133 | |
| San Jerónimo Silacoyapilla | 17 | 48 | 97 | 51 | 1 17 | 65 375 | 213 29 | D2 | 51 133 | |
| San Jorge Nahuata | 17 | 39 | 98 | 6 | 1 19 | 65 671 | 212 91 | D2 | 51 133 | |
| San José Ayuquila | 17 | 56 | 97 | 58 | 1 36 | 65 315 | 212 82 | D2 | 51 133 | |
| San Juan Bautista Sahuapiles | 17 | 58 | 97 | 39 | 1 84 | 65 092 | 213 53 | D2 | 51 133 | |
| San Marcos Arriaga | 17 | 43 | 97 | 51 | 1 64 | 65 456 | 213 41 | D2 | 51 133 | |
| San Martín Zacatepec | 17 | 48 | 98 | 4 | 1 54 | 65 505 | 212 77 | D2 | 51 133 | |
| San Miguel Amatlán | 17 | 53 | 98 | 1 | 1 56 | 65 394 | 212 77 | D2 | 51 133 | |
| San Pedro y San Pablo Tepic | 18 | 3 | 97 | 43 | 1 84 | 65 052 | 213 25 | D2 | 51 133 | |
| San Simón Zahuatlán | 17 | 50 | 98 | 2 | 1 62 | 65 433 | 212 80 | D2 | 51 133 | |
| Santa Catarina Zapotlán | 18 | 4 | 97 | 36 | 1 98 | 64 965 | 213 50 | D2 | 51 133 | |
| Santa Cruz Tlacabuc de Mina | 17 | 49 | 98 | 9 | 1 08 | 65 539 | 212 55 | D2 | 51 133 | |
| Santa María Camotlán | 17 | 54 | 97 | 41 | 1 72 | 65 177 | 213 54 | D2 | 51 133 | |
| Santiago Ayuquilla | 17 | 56 | 97 | 57 | 1 58 | 65 305 | 212 86 | D2 | 51 133 | |
| Santiago Cuastlepec | 17 | 43 | 97 | 44 | 1 76 | 65 384 | 213 69 | D2 | 51 133 | |
| Santiago Chazumba | 18 | 11 | 97 | 41 | 1 7 | 64 902 | 213 14 | D2 | 51 133 | |
| Santiago Huapostlán | 17 | 49 | 97 | 44 | 1 64 | 65 388 | 213 51 | D2 | 51 133 | |
| Santiago Miltepec | 17 | 59 | 97 | 41 | 1 85 | 65 096 | 213 42 | D2 | 51 133 | |
| Santo Domingo Tonala | 17 | 41 | 97 | 58 | 1 19 | 65 559 | 213 18 | D2 | 51 133 | |
| Santo Domingo Yodolano | 17 | 37 | 97 | 41 | 1 68 | 65 45 | 213 95 | D2 | 51 133 | |
| Santos Reyes Yucuna | 17 | 47 | 98 | 0 | 1 94 | 65 482 | 212 96 | D2 | 51 133 | |
| Tecotlán de Siquira y Luna | 17 | 39 | 97 | 49 | 1 52 | 65 5 | 213 59 | D2 | 51 133 | |
| Zapotlán Palmas | 17 | 53 | 97 | 49 | 1 91 | 65 271 | 213 25 | D2 | 51 133 | |

TESIS CON FALTA DE ORIGEN

| Municipio (Código) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud | Área | | Tipo de Zona | |
|--------------------------------|---------------|---------|----------------|---------|---------|-----------|----------------------|--------------|--------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | Elevación | Área Municipal (km²) | | |
| San Sebastián Buenavista | 17 | 35 | 97 | 24 | 2,12 | 65,018 | 214,21 | D2 | 51,133 |
| Santa Rosa de San Sebastián | 17 | 43 | 97 | 22 | 2,18 | 65,157 | 214,55 | D2 | 51,133 |
| San Francisco Tepic | 17 | 31 | 97 | 29 | 2,28 | 65,102 | 214,05 | D2 | 51,133 |
| Santa Ana Bautista Cuatlahuaca | 17 | 43 | 96 | 19 | 2,1 | 65,126 | 214,06 | D2 | 51,133 |
| Santa María Tlapoles | 17 | 48 | 97 | 25 | 2,2 | 65,109 | 214,31 | D2 | 51,133 |
| San Miguel Tequisquiapan | 17 | 48 | 97 | 29 | 2,02 | 65,057 | 214,50 | D2 | 51,133 |
| Santa María Tlalaxiangua | 17 | 45 | 97 | 26 | 2,2 | 65,167 | 214,34 | D2 | 51,133 |
| Santa Magdalena Huixtlan | 17 | 45 | 97 | 28 | 2,18 | 65,114 | 214,19 | D2 | 51,133 |
| Santa María Nativitas | 17 | 49 | 97 | 29 | 2,18 | 65,181 | 214,70 | D2 | 51,133 |
| Santiago Zibatlan Plumas | 17 | 31 | 97 | 26 | 2,12 | 65,071 | 214,20 | D2 | 51,133 |
| Santiago Tepicallá | 17 | 47 | 97 | 24 | 2,16 | 65,114 | 214,57 | D2 | 51,133 |
| Tepehime Villa de Morelos | 17 | 32 | 97 | 22 | 2,06 | 65,014 | 214,33 | D2 | 51,133 |
| Tlaxiangua Plumas | 17 | 31 | 97 | 26 | 2,12 | 65,071 | 214,20 | D2 | 51,133 |
| Yucatlan de Flores Magon | 18 | 10 | 96 | 52 | 1,46 | 64,411 | 215,04 | D2 | 51,133 |
| Zapotlan | 18 | 6 | 96 | 47 | 1,66 | 64,425 | 215,32 | D2 | 51,133 |
| Zapotlan de Jimenez | 18 | 7 | 96 | 50 | 1,56 | 64,441 | 215,19 | D2 | 51,133 |
| Zapotlan Villa de Flores | 18 | 1 | 96 | 35 | 1,14 | 64,588 | 215,14 | D2 | 51,133 |
| San Antonio Nahuatlan | 18 | 8 | 97 | 7 | 0,76 | 64,601 | 214,52 | D2 | 51,133 |
| San Bartolome Avastlan | 18 | 2 | 96 | 40 | 0,65 | 64,413 | 215,68 | D2 | 51,133 |
| San Francisco Huixtlan | 18 | 12 | 96 | 37 | 1,66 | 64,435 | 214,81 | D2 | 51,133 |
| San Jeronimo Teotitlan | 18 | 10 | 96 | 35 | 1,84 | 64,416 | 214,93 | D2 | 51,133 |
| San Jose Tenango | 18 | 8 | 96 | 43 | 0,82 | 64,351 | 215,41 | D2 | 51,133 |
| San Juan Cuicatlan | 18 | 3 | 96 | 45 | 1,88 | 64,45 | 215,47 | D2 | 51,133 |
| San Juan de los Rios | 18 | 3 | 97 | 3 | 0,86 | 64,641 | 214,79 | D2 | 51,133 |
| San Lorenzo Cuauahuatlan | 18 | 12 | 96 | 51 | 1,91 | 64,404 | 214,92 | D2 | 51,133 |
| San Lucas Zauquapan | 18 | 8 | 96 | 35 | 1,76 | 64,477 | 214,98 | D2 | 51,133 |
| San Martin Tepicallá | 18 | 6 | 97 | 3 | 1,02 | 64,593 | 214,72 | D2 | 51,133 |
| San Mateo Yucatan | 18 | 8 | 96 | 52 | 1,35 | 64,446 | 215,09 | D2 | 51,133 |
| San Pedro Cuicatlan | 18 | 11 | 96 | 54 | 1,72 | 64,42 | 214,94 | D2 | 51,133 |
| Santa Ana Atenahuaca | 18 | 12 | 96 | 51 | 1,83 | 64,404 | 214,92 | D2 | 51,133 |
| Santa Cruz Acatepec | 18 | 9 | 96 | 52 | 1,6 | 64,43 | 215,06 | D2 | 51,133 |
| Santa Maria Chahola | 18 | 14 | 96 | 50 | 1,31 | 64,35 | 215,02 | D2 | 51,133 |
| Santa Maria Huixtlan | 17 | 31 | 97 | 11 | 1,84 | 64,915 | 214,78 | D2 | 51,133 |
| Santa Maria la Asuncion | 18 | 6 | 96 | 49 | 1,5 | 64,446 | 215,25 | D2 | 51,133 |
| Santa Maria Teomavaca | 17 | 37 | 97 | 1 | 0,6 | 64,715 | 215,01 | D2 | 51,133 |
| Santa Maria Tepehuacan | 18 | 9 | 96 | 37 | 1,82 | 64,483 | 214,88 | D2 | 51,133 |
| Santiago Teacalpan | 18 | 12 | 96 | 38 | 2,02 | 64,446 | 214,77 | D2 | 51,133 |
| Teotitlan de Flores Magon | 18 | 8 | 97 | 4 | 1,02 | 64,572 | 214,64 | D2 | 51,133 |
| Tepehuacan de Benito Juarez | 17 | 39 | 96 | 44 | 0,58 | 64,503 | 215,61 | D2 | 51,133 |
| Tepehuacan Papalo | 17 | 30 | 96 | 33 | 2,12 | 64,74 | 215,49 | D2 | 51,133 |
| Tepehuacan Villa de Zaragoza | 17 | 38 | 96 | 30 | 1,68 | 64,582 | 215,41 | D2 | 51,133 |

**RED DE TESIS CON
 BALTA DE ORDEN**

| | | | | | | | | | |
|----------------------------------|----|----|----|----|------|--------|--------|----|--------|
| San Andres Teotitlan | 17 | 37 | 96 | 39 | 1,45 | 64,48 | 215,64 | D2 | 51,133 |
| San Francisco Chapulapa | 17 | 36 | 96 | 45 | 1,4 | 64,56 | 215,64 | D2 | 51,133 |
| San Juan Bautista Cuatlan | 17 | 48 | 96 | 37 | 0,62 | 64,814 | 215,38 | D2 | 51,133 |
| San Juan Bautista Huixtlan | 17 | 32 | 96 | 35 | 0,56 | 64,515 | 216,11 | D2 | 51,133 |
| San Juan Tepehuacan | 17 | 45 | 96 | 30 | 2,15 | 64,818 | 215,77 | D2 | 51,133 |
| San Miguel Santa Fe | 17 | 33 | 96 | 48 | 1,81 | 64,688 | 215,55 | D2 | 51,133 |
| San Pedro Jaltepec | 17 | 41 | 97 | 2 | 1,76 | 64,928 | 215,37 | D2 | 51,133 |
| San Pedro Joctopac | 17 | 46 | 97 | 5 | 2,04 | 64,931 | 215,13 | D2 | 51,133 |
| San Pedro Sohuapan | 17 | 49 | 96 | 40 | 1,22 | 64,616 | 216,00 | D2 | 51,133 |
| San Pedro Teotitlan | 17 | 38 | 96 | 42 | 1,02 | 64,497 | 215,71 | D2 | 51,133 |
| Santa Ana Cuatlahuaca | 17 | 39 | 96 | 47 | 1,08 | 64,535 | 215,49 | D2 | 51,133 |
| Santa Maria Papalo | 17 | 47 | 96 | 48 | 2,05 | 64,734 | 215,75 | D2 | 51,133 |
| Santa Maria Teotitlan | 17 | 42 | 97 | 4 | 1,5 | 64,983 | 215,27 | D2 | 51,133 |
| Santa Maria Tlalaxiangua | 17 | 37 | 96 | 44 | 1,16 | 64,534 | 215,65 | D2 | 51,133 |
| Santiago Nahuatlan | 17 | 10 | 96 | 35 | 2,08 | 65,075 | 215,91 | D2 | 51,133 |
| Santos Reyes Papalo | 17 | 48 | 96 | 31 | 2,03 | 64,75 | 215,61 | D2 | 51,133 |
| Valero Tepehuacan | 17 | 46 | 96 | 38 | 0,62 | 64,857 | 215,40 | D2 | 51,133 |
| Avastlan de Perez Figueroa | 18 | 32 | 96 | 36 | 0,12 | 63,898 | 215,12 | D2 | 51,133 |
| Ayotlan | 17 | 40 | 96 | 8 | 0,1 | 64,404 | 217,41 | D2 | 51,133 |
| Cosola | 18 | 36 | 96 | 41 | 0,2 | 63,888 | 214,84 | D2 | 51,133 |
| Loma Bonita | 18 | 6 | 95 | 53 | 0,03 | 63,838 | 217,30 | D3 | 67,834 |
| San Felipe Jalapa de Diaz | 18 | 4 | 96 | 32 | 0,14 | 64,296 | 215,93 | D2 | 51,133 |
| San Felipe Usila | 17 | 33 | 96 | 31 | 0,1 | 64,456 | 216,24 | D2 | 51,133 |
| San Jose Chaltep | 17 | 36 | 96 | 10 | 0,03 | 64,18 | 216,94 | D2 | 51,133 |
| San Jose Independencia | 18 | 15 | 96 | 39 | 0,1 | 64,198 | 215,41 | D2 | 51,133 |
| San Juan Bautista Tlaxiangua | 18 | 5 | 96 | 8 | 0,02 | 64,019 | 216,79 | D2 | 51,133 |
| San Juan Bautista Valle Nacional | 17 | 46 | 96 | 18 | 0,06 | 64,423 | 216,89 | D2 | 51,133 |
| San Lucas Opatlan | 18 | 3 | 96 | 24 | 0,15 | 64,225 | 216,25 | D2 | 51,133 |
| San Miguel Soyaltepec | 18 | 15 | 96 | 21 | 0,04 | 64,038 | 215,96 | D2 | 51,133 |
| San Pedro Huixtlan | 18 | 9 | 96 | 30 | 0,04 | 64,196 | 215,88 | D2 | 51,133 |
| Santa Maria Jaltepec | 17 | 31 | 96 | 12 | 0,03 | 64,279 | 216,99 | D2 | 51,133 |
| San Juan Comaltepec | 17 | 20 | 95 | 58 | 0,64 | 64,596 | 218,28 | D3 | 67,834 |
| San Juan Lalana | 17 | 28 | 95 | 53 | 0,48 | 64,417 | 218,26 | D3 | 67,834 |
| San Juan Pelapa | 17 | 28 | 96 | 2 | 0,68 | 64,52 | 217,93 | D2 | 51,133 |
| Santiago Choupan | 17 | 21 | 95 | 55 | 0,84 | 64,546 | 218,37 | D3 | 67,834 |
| Santiago Joctopac | 17 | 32 | 95 | 36 | 0,28 | 64,391 | 218,05 | D3 | 67,834 |
| Santiago Yareo | 17 | 20 | 95 | 42 | 0,44 | 64,412 | 218,86 | D3 | 67,834 |
| Cosola de las Flores | 17 | 16 | 98 | 16 | 2,02 | 66,145 | 213,06 | D2 | 51,133 |
| San Juan Mixtepec | 17 | 18 | 97 | 30 | 1,75 | 65,847 | 214,06 | D2 | 51,133 |
| San Martin Peras | 17 | 21 | 98 | 14 | 2,2 | 66,044 | 213,02 | D2 | 51,133 |
| San Miguel Tlaxiangua | 17 | 27 | 98 | 0 | 1,71 | 65,805 | 213,44 | D2 | 51,133 |

DATOS PARA LA DADA MUNICIPIO DEL TERRITORIO NACIONAL

| Municipio (Cabeza) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud [meters] | Área | | | Tipo de Huevo |
|------------------------------------|---------------|---------|----------------|---------|---------------------|-----------|--------|------|---------------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | Elevación | Área | USDA | |
| N. Sebastián Tzucmalhuc | 17 | 21 | 97 | 2 | 1,68 | 65,922 | 213,50 | D2 | 51,133 |
| N. Nuevo Justitahuac | 17 | 20 | 97 | 0 | 1,69 | 65,918 | 213,61 | D2 | 51,133 |
| N. S. Reyes Tepicillo | 17 | 20 | 97 | 26 | 1,93 | 65,781 | 213,62 | D2 | 51,133 |
| N. S. Andrés Lagunas | 17 | 34 | 97 | 31 | 2,3 | 65,394 | 214,42 | D2 | 51,133 |
| N. S. Antonino Montecorde | 17 | 32 | 97 | 43 | 2,23 | 65,551 | 213,99 | D2 | 51,133 |
| N. S. Antonio Acuña | 17 | 44 | 97 | 30 | 2,18 | 65,224 | 214,21 | D2 | 51,133 |
| N. S. Bartolo Sivalpés | 17 | 35 | 97 | 18 | 2,28 | 65,242 | 214,40 | D2 | 51,133 |
| N. S. Juan Tepeyolula | 17 | 33 | 97 | 23 | 2,3 | 65,348 | 214,68 | D2 | 51,133 |
| N. S. Pedro Nopala | 17 | 28 | 97 | 32 | 2,18 | 65,181 | 214,04 | D2 | 51,133 |
| N. S. Pedro Topilepés | 17 | 26 | 97 | 21 | 2,12 | 65,417 | 215,01 | D2 | 51,133 |
| N. S. Pedro y San Pablo Tepicilula | 17 | 31 | 97 | 29 | 2,18 | 65,421 | 214,57 | D2 | 51,133 |
| N. S. Pedro Yucunama | 17 | 34 | 97 | 29 | 2,44 | 65,374 | 214,50 | D2 | 51,133 |
| N. S. Sebastián Nicanandata | 17 | 31 | 97 | 41 | 2,36 | 65,546 | 214,10 | D2 | 51,133 |
| N. S. Vicente Numa | 17 | 27 | 97 | 27 | 2,36 | 65,464 | 214,75 | D2 | 51,133 |
| Santa María Nduayaa | 17 | 24 | 97 | 30 | 2,34 | 65,543 | 214,70 | D2 | 51,133 |
| Santiago Nopala | 17 | 23 | 97 | 22 | 2,28 | 65,443 | 214,99 | D2 | 51,133 |
| Santiago Yolomeatl | 17 | 28 | 97 | 34 | 2,12 | 65,521 | 214,45 | D2 | 51,133 |
| Santo Domingo Tlatayapam | 17 | 24 | 97 | 21 | 2,26 | 65,448 | 215,06 | D2 | 51,133 |
| Santo Domingo Topilepés | 17 | 37 | 97 | 21 | 2,5 | 65,242 | 214,73 | D2 | 51,133 |
| Santiago | 17 | 43 | 97 | 32 | 2,06 | 65,261 | 214,16 | D2 | 51,133 |
| Comunidad Vista Hermosa, La | 17 | 46 | 97 | 30 | 2,16 | 65,192 | 214,16 | D2 | 51,133 |
| Vista de Chalapa de Díaz | 17 | 35 | 97 | 38 | 1,9 | 65,451 | 214,12 | D2 | 51,133 |
| Vista de Tamaritapam del Progreso | 17 | 40 | 97 | 34 | 2 | 65,33 | 214,15 | D2 | 51,133 |
| Vista Tepicam de la Unión | 17 | 40 | 97 | 28 | 2,11 | 65,267 | 214,39 | D2 | 51,133 |
| Aguacon Nixhuatlán | 17 | 27 | 97 | 13 | 2,08 | 65,316 | 215,29 | D2 | 51,133 |
| Magdalena Jalpés | 17 | 19 | 97 | 13 | 2,02 | 65,442 | 215,49 | D2 | 51,133 |
| Magdalena Yodocono de Benito Díaz | 17 | 23 | 97 | 21 | 2,31 | 65,464 | 215,08 | D2 | 51,133 |
| Magdalena Zahuatlán | 17 | 23 | 97 | 13 | 2,11 | 65,379 | 215,39 | D2 | 51,133 |
| S. S. Andrés Numa | 17 | 14 | 97 | 6 | 1,84 | 65,445 | 215,89 | D2 | 51,133 |
| S. S. Andrés Smitla | 17 | 28 | 97 | 17 | 2,1 | 65,343 | 215,11 | D2 | 51,133 |
| S. S. Francisco Chindua | 17 | 25 | 97 | 19 | 2,12 | 65,411 | 215,11 | D2 | 51,133 |
| S. S. Francisco Jaltepeongo | 17 | 23 | 97 | 16 | 2,07 | 65,411 | 215,28 | D2 | 51,133 |
| S. S. Francisco o Nuxano | 17 | 23 | 97 | 21 | 2,33 | 65,464 | 215,08 | D2 | 51,133 |
| S. S. Juan Dixi | 17 | 17 | 97 | 22 | 2,27 | 65,569 | 215,19 | D2 | 51,133 |
| S. S. Juan Sayaltepés | 17 | 27 | 97 | 17 | 2,09 | 65,358 | 215,14 | D2 | 51,133 |
| S. S. Juan Tamara | 17 | 9 | 97 | 13 | 2,08 | 65,599 | 215,75 | D2 | 51,133 |
| S. S. Juan Yacuta | 17 | 30 | 97 | 16 | 2,08 | 65,3 | 215,10 | D2 | 51,133 |
| S. S. Mateo Estatongo | 17 | 25 | 97 | 16 | 2,04 | 65,379 | 215,22 | D2 | 51,133 |
| S. S. Mateo Smitlhu | 17 | 0 | 97 | 21 | 1,46 | 65,827 | 215,67 | D2 | 51,133 |
| San Miguel Chahuac | 17 | 38 | 97 | 12 | 2,3 | 65,131 | 215,06 | D2 | 51,133 |

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

ANEXO C

| Municipio (Cabeza) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud [meters] | Área | | | Tipo de Huevo |
|--------------------------------|---------------|---------|----------------|---------|---------------------|-----------|--------|------|---------------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | Elevación | Área | USDA | |
| San Miguel Huautla | 17 | 44 | 97 | 8 | 2 | 64,994 | 215,06 | D2 | 51,133 |
| San Miguel Piedras | 17 | 0 | 97 | 14 | 1,78 | 65,751 | 215,44 | D2 | 51,133 |
| San Miguel Tzucmalán | 17 | 21 | 97 | 16 | 2,04 | 65,411 | 215,28 | D2 | 51,133 |
| San Pedro Cosavallpés Cantares | 17 | 30 | 97 | 8 | 2,3 | 63,215 | 215,41 | D2 | 51,133 |
| San Pedro Tesozahuac | 17 | 1 | 97 | 17 | 1,59 | 65,768 | 215,80 | D2 | 51,133 |
| San Pedro Toluca | 17 | 20 | 97 | 22 | 2,3 | 65,522 | 215,12 | D2 | 51,133 |
| Santa Inés de Zaragoza | 17 | 14 | 97 | 9 | 1,75 | 65,477 | 215,77 | D2 | 51,133 |
| Santa María Apaxco | 17 | 38 | 97 | 6 | 2,16 | 65,068 | 215,29 | D2 | 51,133 |
| Santa María Chuscopam | 17 | 31 | 97 | 17 | 2,09 | 65,295 | 215,04 | D2 | 51,133 |
| Santiago Apaxta | 17 | 36 | 97 | 8 | 1,97 | 65,075 | 215,19 | D2 | 51,133 |
| Santiago Huautla | 17 | 27 | 97 | 4 | 2,08 | 65,22 | 215,64 | D2 | 51,133 |
| Santiago Tlatongo | 17 | 17 | 97 | 20 | 2,22 | 65,548 | 215,27 | D2 | 51,133 |
| Santiago Tillo | 17 | 27 | 97 | 19 | 2,08 | 65,38 | 215,06 | D2 | 51,133 |
| Santo Domingo Nuxaa | 17 | 13 | 97 | 7 | 1,96 | 65,471 | 215,88 | D2 | 51,133 |
| Santo Domingo Yanhuatlán | 17 | 31 | 97 | 20 | 2,14 | 65,527 | 214,92 | D2 | 51,133 |
| Yotanduh de Guerrero | 17 | 2 | 97 | 18 | 1,62 | 65,763 | 215,73 | D2 | 51,133 |
| Zacalahue Eila | 17 | 10 | 96 | 49 | 1,6 | 65,322 | 216,65 | D2 | 51,133 |
| Magdalena Apaxco | 17 | 14 | 96 | 49 | 1,66 | 65,26 | 216,54 | D2 | 51,133 |
| Nuxano Eila | 17 | 11 | 96 | 49 | 1,6 | 65,306 | 216,62 | D2 | 51,133 |
| Reyes Eila | 17 | 12 | 96 | 49 | 1,63 | 65,291 | 216,59 | D2 | 51,133 |
| San Agustín Eila | 17 | 11 | 96 | 46 | 1,7 | 65,273 | 216,73 | D2 | 51,133 |
| San Andrés Zautla | 17 | 11 | 96 | 52 | 1,64 | 65,330 | 216,50 | D2 | 51,133 |
| San Felipe Tepalpam | 17 | 7 | 96 | 51 | 1,64 | 65,39 | 216,65 | D2 | 51,133 |
| San Francisco Teñitahuac | 17 | 18 | 96 | 54 | 1,7 | 65,252 | 216,25 | D2 | 51,133 |
| San Jerónimo Sovala | 17 | 22 | 97 | 2 | 1,92 | 65,276 | 215,84 | D2 | 51,133 |
| San Juan Bautista Atlatlahua | 17 | 32 | 96 | 50 | 1,01 | 64,99 | 216,05 | D2 | 51,133 |
| San Juan Bautista Guetlahue | 17 | 14 | 96 | 47 | 1,74 | 65,238 | 216,62 | D2 | 51,133 |
| San Juan Bautista Jayacatlán | 17 | 25 | 96 | 49 | 1,26 | 65,088 | 216,26 | D2 | 51,133 |
| San Juan del Estado | 17 | 16 | 96 | 48 | 1,74 | 65,217 | 216,51 | D2 | 51,133 |
| San Lorenzo Casatepés | 17 | 8 | 96 | 48 | 1,6 | 65,342 | 216,75 | D2 | 51,133 |
| San Pablo Eila | 17 | 9 | 96 | 46 | 1,63 | 65,304 | 216,79 | D2 | 51,133 |
| San Pablo Huatro | 17 | 16 | 96 | 53 | 1,7 | 65,272 | 216,34 | D2 | 51,133 |
| Santa María Penoles | 17 | 5 | 97 | 0 | 1,98 | 65,52 | 216,35 | D2 | 51,133 |
| Santiago San Jhuatongo | 17 | 15 | 96 | 52 | 1,67 | 65,277 | 216,40 | D2 | 51,133 |
| Santiago Tenango | 17 | 19 | 97 | 0 | 2,04 | 65,302 | 215,99 | D2 | 51,133 |
| Santiago Tlatayalpés | 17 | 2 | 97 | 0 | 2,54 | 65,367 | 216,43 | D2 | 51,133 |
| Santo Tomás Mazaltepés | 17 | 10 | 96 | 52 | 1,66 | 65,355 | 216,53 | D2 | 51,133 |
| Soledad Eila | 17 | 10 | 96 | 49 | 1,6 | 65,322 | 216,65 | D2 | 51,133 |
| Villa de Eila | 17 | 12 | 96 | 48 | 1,66 | 65,28 | 216,63 | D2 | 51,133 |
| Altepés | 17 | 26 | 96 | 36 | 2,26 | 64,91 | 216,73 | D2 | 51,133 |
| Capulapam de Méndez | 17 | 18 | 96 | 27 | 2,04 | 64,954 | 217,27 | D2 | 51,133 |

| Municipio (Origen) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud (metros) | Área | | Tipo de Bordo | |
|----------------------|---------------|---------|----------------|---------|------------------|-----------------|--------|---------------|--------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | km ² | ZONA | | |
| San Juan de los Rios | 17 | 19 | 56 | 29 | 1.76 | 64.961 | 217.17 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 20 | 56 | 29 | 2.03 | 64.943 | 217.14 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 18 | 56 | 25 | 1.96 | 64.932 | 217.14 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 17 | 56 | 17 | 2.06 | 65.081 | 216.92 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 26 | 56 | 32 | 2 | 64.886 | 216.88 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 17 | 56 | 30 | 1.76 | 65.001 | 217.18 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 24 | 56 | 32 | 2.12 | 64.917 | 216.93 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 26 | 56 | 35 | 1.92 | 64.764 | 216.51 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 25 | 56 | 41 | 2.26 | 65.031 | 216.56 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 16 | 56 | 28 | 2 | 64.996 | 217.28 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 19 | 56 | 34 | 1.76 | 65.016 | 216.98 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 22 | 56 | 29 | 1.4 | 64.831 | 217.43 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 32 | 56 | 33 | 2.1 | 64.804 | 216.69 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 24 | 56 | 21 | 1.3 | 64.795 | 217.34 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 33 | 56 | 33 | 1.94 | 64.758 | 216.61 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 23 | 56 | 37 | 2.28 | 64.968 | 216.77 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 16 | 56 | 34 | 1.92 | 65.063 | 217.06 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 16 | 56 | 28 | 2.08 | 64.996 | 217.28 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 22 | 56 | 32 | 2.04 | 64.948 | 216.98 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 14 | 56 | 26 | 2 | 65.034 | 217.41 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 14 | 56 | 33 | 2 | 64.773 | 216.64 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 13 | 56 | 18 | 1.96 | 64.91 | 217.33 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 17 | 56 | 26 | 2 | 64.958 | 217.33 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 21 | 56 | 37 | 1.8 | 65.019 | 216.82 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 16 | 56 | 14 | 1.39 | 64.836 | 217.80 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 18 | 56 | 9 | 1.39 | 64.751 | 217.91 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 13 | 56 | 13 | 1.6 | 64.873 | 217.92 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 14 | 56 | 14 | 1.32 | 64.869 | 217.85 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 20 | 56 | 10 | 1.2 | 64.732 | 217.85 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 10 | 56 | 15 | 1.7 | 64.941 | 217.92 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 20 | 56 | 9 | 1.23 | 64.721 | 217.88 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 21 | 56 | 18 | 1.32 | 64.807 | 217.51 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 18 | 56 | 12 | 1.36 | 64.763 | 217.82 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 26 | 56 | 17 | 1.44 | 64.719 | 217.43 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 24 | 56 | 10 | 1.3 | 64.673 | 217.74 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 9 | 56 | 12 | 1.36 | 64.922 | 218.06 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 15 | 56 | 9 | 1.48 | 64.797 | 218.01 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 9 | 56 | 14 | 1.45 | 64.945 | 217.98 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 10 | 56 | 16 | 1.88 | 64.953 | 217.88 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 23 | 56 | 10 | 1.1 | 64.686 | 217.77 | D2 | 51.133 |
| San Juan de los Rios | 17 | 14 | 56 | 16 | 1.86 | 64.892 | 217.78 | D2 | 51.133 |

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

| Municipio (Origen) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud (metros) | Área | | Tipo de Bordo | |
|--------------------|---------------|---------|----------------|---------|------------------|-----------------|--------|---------------|--------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | km ² | ZONA | | |
| Santiago Comolán | 17 | 27 | 56 | 11 | 1.38 | 64.637 | 217.63 | D2 | 51.133 |
| Santiago Comolán | 17 | 25 | 56 | 15 | 1.2 | 64.712 | 217.53 | D2 | 51.133 |
| Santiago Comolán | 17 | 13 | 56 | 14 | 1.6 | 64.884 | 217.88 | D2 | 51.133 |
| Santiago Comolán | 17 | 20 | 56 | 7 | 1.6 | 64.698 | 217.96 | D2 | 51.133 |
| Santiago Comolán | 17 | 9 | 56 | 16 | 1.56 | 64.968 | 217.91 | D2 | 51.133 |
| Santiago Comolán | 17 | 22 | 56 | 18 | 1.26 | 64.792 | 217.50 | D2 | 51.133 |
| Santiago Comolán | 17 | 11 | 56 | 11 | 1.28 | 64.881 | 218.04 | D2 | 51.133 |
| Santiago Comolán | 17 | 22 | 56 | 15 | 1.6 | 64.758 | 217.61 | D2 | 51.133 |
| Santiago Comolán | 17 | 2 | 56 | 37 | 1.6 | 64.856 | 218.79 | D4 | 67.834 |
| Santiago Comolán | 17 | 10 | 56 | 3 | 1.68 | 64.827 | 218.29 | D2 | 51.133 |
| Santiago Comolán | 17 | 10 | 56 | 47 | 1.2 | 64.62 | 218.95 | D1 | 67.834 |
| Santiago Comolán | 17 | 2 | 56 | 26 | 0.52 | 64.493 | 219.91 | D3 | 67.834 |
| Santiago Comolán | 16 | 37 | 56 | 43 | 1.28 | 64.768 | 219.44 | G | 100.99 |
| Santiago Comolán | 16 | 38 | 56 | 46 | 1.2 | 64.788 | 219.30 | G | 100.99 |
| Santiago Comolán | 16 | 37 | 56 | 51 | 1.6 | 64.862 | 219.15 | G | 100.99 |
| Santiago Comolán | 17 | 2 | 56 | 4 | 2.08 | 64.917 | 218.54 | D2 | 51.133 |
| Santiago Comolán | 17 | 5 | 56 | 31 | 1.46 | 64.742 | 218.93 | D3 | 67.834 |
| Santiago Comolán | 17 | 0 | 56 | 1 | 1.85 | 64.933 | 218.70 | D2 | 51.133 |
| Santiago Comolán | 17 | 6 | 56 | 4 | 2.24 | 64.877 | 218.43 | D2 | 51.133 |
| Santiago Comolán | 17 | 6 | 56 | 37 | 1.32 | 64.796 | 218.69 | D3 | 67.834 |
| Santiago Comolán | 16 | 36 | 56 | 37 | 0.8 | 64.712 | 219.68 | G | 100.99 |
| Santiago Comolán | 17 | 9 | 56 | 33 | 1.2 | 64.728 | 218.68 | D3 | 67.834 |
| Santiago Comolán | 16 | 37 | 56 | 3 | 2.14 | 65.011 | 218.71 | G | 100.99 |
| Santiago Comolán | 17 | 3 | 56 | 4 | 2.04 | 64.922 | 218.51 | D2 | 51.133 |
| Santiago Comolán | 17 | 15 | 56 | 2 | 1.84 | 64.717 | 218.27 | D2 | 51.133 |
| Santiago Comolán | 17 | 2 | 56 | 36 | 0.79 | 64.166 | 214.22 | D2 | 51.133 |
| Santiago Comolán | 16 | 55 | 56 | 38 | 0.44 | 66.299 | 214.32 | G | 100.99 |
| Santiago Comolán | 17 | 1 | 56 | 35 | 0.75 | 66.171 | 214.28 | D2 | 51.133 |
| Santiago Comolán | 16 | 37 | 56 | 31 | 0.83 | 66.511 | 215.07 | G | 100.99 |
| Santiago Comolán | 16 | 53 | 56 | 41 | 2.18 | 66.151 | 215.05 | G | 100.99 |
| Santiago Comolán | 16 | 39 | 56 | 3 | 0.52 | 66.627 | 214.44 | G | 100.99 |
| Santiago Comolán | 16 | 52 | 56 | 39 | 2.12 | 66.146 | 215.16 | G | 100.99 |
| Santiago Comolán | 16 | 38 | 56 | 40 | 2.48 | 66.061 | 214.96 | G | 100.99 |
| Santiago Comolán | 16 | 38 | 56 | 2 | 0.48 | 66.612 | 214.59 | G | 100.99 |
| Santiago Comolán | 16 | 45 | 56 | 39 | 0.34 | 66.469 | 214.53 | G | 100.99 |
| Santiago Comolán | 17 | 2 | 56 | 14 | 2.45 | 65.934 | 215.10 | D2 | 51.133 |
| Santiago Comolán | 17 | 16 | 56 | 41 | 2.04 | 65.796 | 214.47 | D2 | 51.133 |
| Santiago Comolán | 17 | 14 | 56 | 33 | 1.96 | 65.734 | 214.84 | D2 | 51.133 |
| Santiago Comolán | 17 | 12 | 56 | 31 | 2.01 | 65.714 | 214.96 | D2 | 51.133 |
| Santiago Comolán | 17 | 9 | 56 | 34 | 2.1 | 65.823 | 214.92 | D2 | 51.133 |
| Santiago Comolán | 17 | 14 | 56 | 27 | 1.83 | 65.67 | 215.07 | D2 | 51.133 |

| Municipio (Código) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud | Área | | Tipo de Zona | |
|---------------------------|---------------|---------|----------------|---------|---------|-----------------|-----------------|--------------|---------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | km ² | km ² | ZONA | Altitud |
| San Cristóbal Amoltepec | 17 | 17 | 97 | 34 | 2 32 | 65 666 | 214 72 | D2 | 51 133 |
| San Esteban Matlahuaca | 17 | 4 | 97 | 41 | 2 45 | 65 977 | 214 77 | D2 | 51 133 |
| San Juan Acapulca | 17 | 21 | 97 | 50 | 2 | 65 541 | 214 78 | D2 | 51 133 |
| San Juan Numa | 17 | 24 | 97 | 42 | 2 2 | 65 668 | 214 23 | D2 | 51 133 |
| San Juan Tepe | 17 | 6 | 97 | 25 | 1 32 | 65 773 | 215 33 | D2 | 51 133 |
| San Martín Huamulpan | 17 | 24 | 97 | 36 | 2 2 | 65 666 | 214 47 | D2 | 51 133 |
| San Martín Itumbiolo | 17 | 14 | 97 | 53 | 2 62 | 65 942 | 214 64 | D2 | 51 133 |
| San Mateo Petresc | 17 | 9 | 97 | 32 | 1 9 | 65 802 | 215 01 | D2 | 51 133 |
| San Miguel Acapulca | 17 | 35 | 97 | 29 | 1 94 | 65 628 | 214 84 | D2 | 51 133 |
| San Miguel el Colorado | 17 | 1 | 97 | 32 | 2 46 | 65 95 | 214 96 | D2 | 51 133 |
| San Pablo Tlapatepec | 17 | 1 | 97 | 30 | 2 24 | 65 908 | 215 28 | D2 | 51 133 |
| San Pedro Martín Veracruz | 17 | 26 | 97 | 37 | 2 25 | 65 584 | 214 38 | D2 | 51 133 |
| San Pedro Molinos | 17 | 6 | 97 | 32 | 2 1 | 65 65 | 215 08 | D2 | 51 133 |
| Santa Catarina Tuxtla | 17 | 20 | 97 | 33 | 2 1 | 65 618 | 214 68 | D2 | 51 133 |
| Santa Catarina Tuxtla | 17 | 4 | 97 | 32 | 2 25 | 65 681 | 215 13 | D2 | 51 133 |
| Santa Catarina Yoxoteco | 17 | 1 | 97 | 40 | 2 26 | 66 014 | 214 89 | D2 | 51 133 |
| Santa Cruz Nandaco | 17 | 10 | 97 | 43 | 2 3 | 65 942 | 214 34 | D2 | 51 133 |
| Santa Cruz Tawilma | 16 | 53 | 97 | 29 | 1 74 | 65 991 | 215 48 | G | 100 99 |
| Santa Cruz Tuxtla | 17 | 21 | 97 | 34 | 2 12 | 65 633 | 214 62 | D2 | 51 133 |
| Santa María del Rosario | 17 | 21 | 97 | 36 | 2 32 | 65 634 | 214 34 | D2 | 51 133 |
| Santa María Tlaltepéc | 17 | 8 | 97 | 24 | 1 6 | 65 733 | 215 34 | D2 | 51 133 |
| Santa María Yolotepec | 16 | 51 | 97 | 30 | 1 96 | 66 054 | 215 49 | G | 100 99 |
| San María Yotouja | 17 | 7 | 97 | 31 | 1 9 | 65 823 | 215 09 | D2 | 51 133 |
| Santa María Yahualtlan | 17 | 1 | 97 | 46 | 1 74 | 66 077 | 214 65 | D2 | 51 133 |
| Santiago Nandaco | 17 | 20 | 97 | 40 | 2 17 | 65 712 | 214 41 | D2 | 51 133 |
| Santiago Nandaco | 17 | 0 | 97 | 46 | 1 64 | 66 093 | 214 67 | D2 | 51 133 |
| Santiago Yoxoteco | 16 | 52 | 97 | 34 | 2 2 | 66 092 | 215 36 | G | 100 99 |
| Santo Domingo Ixcatlan | 16 | 55 | 97 | 32 | 2 36 | 66 024 | 215 36 | G | 100 99 |
| Santo Tomás Ocotepéc | 17 | 9 | 97 | 45 | 2 13 | 65 939 | 214 48 | D2 | 51 133 |
| San Antonio Huixtépéc | 16 | 55 | 97 | 8 | 2 34 | 65 784 | 216 30 | G | 100 99 |
| San Miguel Peras | 16 | 56 | 97 | 0 | 2 12 | 65 666 | 216 59 | G | 100 99 |
| San Pablo Cuatro Venados | 16 | 59 | 96 | 53 | 2 42 | 65 536 | 216 78 | G | 100 99 |
| Santa Inés del Monte | 16 | 56 | 96 | 52 | 2 4 | 65 572 | 216 90 | G | 100 99 |
| Trinidad Zahuila | 16 | 55 | 96 | 46 | 1 49 | 65 52 | 217 15 | G | 100 99 |
| Villa de Zahuila | 16 | 56 | 96 | 45 | 1 52 | 65 491 | 217 16 | G | 100 99 |
| Ayacuap de Aldama | 16 | 41 | 96 | 50 | 1 46 | 65 78 | 217 37 | G | 100 99 |
| Carmeg de Zimatlan | 16 | 51 | 96 | 46 | 1 46 | 65 531 | 217 20 | G | 100 99 |
| Magdalena Mixtepec | 16 | 54 | 96 | 54 | 2 | 65 625 | 216 87 | G | 100 99 |
| San Antonio el Alto | 16 | 49 | 97 | 1 | 2 02 | 65 78 | 216 73 | G | 100 99 |
| San Bernardo Mixtepec | 16 | 49 | 96 | 54 | 1 6 | 65 702 | 217 00 | G | 100 99 |
| San Miguel Mixtepec | 16 | 46 | 96 | 57 | 1 98 | 65 782 | 216 97 | G | 100 99 |

FRSIS CON FALLA DE ORIGEN

| Municipio (Código) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud | Área | | Tipo de Zona | |
|----------------------------|---------------|---------|----------------|---------|---------|-----------------|-----------------|--------------|---------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | km ² | km ² | ZONA | Altitud |
| San Pablo Huixtépéc | 16 | 49 | 96 | 47 | 1 48 | 65 624 | 217 27 | G | 100 99 |
| Santa Ana Tlapacoyan | 16 | 41 | 96 | 30 | 1 41 | 65 714 | 217 29 | G | 100 99 |
| Santa Catarina Quareme | 16 | 53 | 96 | 41 | 1 51 | 65 529 | 217 28 | G | 100 99 |
| Santa Cruz Mixtepec | 16 | 47 | 96 | 53 | 1 56 | 65 722 | 217 49 | G | 100 99 |
| Santa Gertrudis | 16 | 47 | 96 | 45 | 1 46 | 65 666 | 217 26 | G | 100 99 |
| Santa Inés Yatzebo | 16 | 48 | 96 | 45 | 1 46 | 65 617 | 217 37 | G | 100 99 |
| Armadillo de Alvarez | 16 | 52 | 96 | 47 | 1 5 | 65 578 | 217 19 | G | 100 99 |
| Amatitlan Tlaxiaco | 16 | 50 | 96 | 43 | 1 52 | 65 425 | 217 16 | G | 100 99 |
| Yajalpan de Guerrero | 16 | 54 | 96 | 47 | 1 56 | 65 47 | 217 01 | G | 100 99 |
| Oaxaca de Juárez | 17 | 4 | 96 | 43 | 1 55 | 65 548 | 217 03 | D2 | 51 133 |
| San Agustín de las Juntas | 17 | 0 | 96 | 43 | 1 53 | 65 41 | 217 13 | D2 | 51 133 |
| San Agustín Yatzebo | 17 | 5 | 96 | 40 | 1 6 | 65 299 | 217 12 | D2 | 51 133 |
| San Andrés Huayapam | 17 | 6 | 96 | 40 | 1 71 | 65 284 | 217 09 | D2 | 51 133 |
| San Andrés Istlahuaca | 17 | 4 | 96 | 49 | 1 62 | 65 415 | 216 80 | D2 | 51 133 |
| San Antonio de la Cal | 17 | 2 | 96 | 42 | 1 54 | 65 568 | 217 12 | D2 | 51 133 |
| San Bartolo Coyotepec | 16 | 57 | 96 | 42 | 1 52 | 65 445 | 217 25 | G | 100 99 |
| San Jacinto Amilps | 17 | 6 | 96 | 46 | 1 55 | 65 35 | 216 86 | D2 | 51 133 |
| San Pedro Istlahuaca | 17 | 3 | 96 | 49 | 1 64 | 65 43 | 216 83 | D2 | 51 133 |
| San Raymundo Jalpan | 16 | 58 | 96 | 45 | 1 53 | 65 463 | 217 31 | G | 100 99 |
| San Sebastián Tula | 17 | 4 | 96 | 40 | 1 54 | 65 315 | 217 14 | D2 | 51 133 |
| Santa Cruz Amilps | 17 | 4 | 96 | 41 | 1 54 | 65 326 | 217 10 | D2 | 51 133 |
| Santa Cruz Xoxocotlan | 17 | 2 | 96 | 44 | 1 53 | 65 39 | 217 04 | D2 | 51 133 |
| Santa Lucia del Camino | 17 | 4 | 96 | 41 | 1 54 | 65 326 | 217 10 | D2 | 51 133 |
| Santa María Atzompa | 17 | 6 | 96 | 47 | 1 58 | 65 361 | 216 82 | D2 | 51 133 |
| Santa María Coyotepec | 16 | 58 | 96 | 42 | 1 54 | 65 429 | 217 22 | G | 100 99 |
| Santa María del Tule | 17 | 1 | 96 | 38 | 1 56 | 65 308 | 217 24 | D2 | 51 133 |
| Santa Dominga Tomoltepec | 17 | 4 | 96 | 37 | 1 59 | 65 281 | 217 26 | D2 | 51 133 |
| Tlaxiaco de Cabrera | 17 | 4 | 96 | 39 | 1 58 | 65 303 | 217 18 | D2 | 51 133 |
| Magdalena Tepeyac | 16 | 54 | 96 | 33 | 1 73 | 65 389 | 217 67 | G | 100 99 |
| Rojas de Cuahuitlán | 17 | 0 | 96 | 37 | 1 57 | 65 343 | 217 36 | D2 | 51 133 |
| San Bartolomé Oaxalana | 16 | 54 | 96 | 30 | 1 78 | 65 356 | 217 78 | G | 100 99 |
| San Dionisio Ocotepéc | 16 | 48 | 96 | 24 | 1 67 | 65 379 | 218 17 | G | 100 99 |
| San Francisco La Viguela | 17 | 0 | 96 | 36 | 1 56 | 65 331 | 217 40 | D2 | 51 133 |
| San Jerónimo Tlaxochahuaya | 17 | 0 | 96 | 35 | 1 58 | 65 32 | 217 44 | D2 | 51 133 |
| San Juan del Río | 16 | 51 | 96 | 9 | 1 18 | 65 131 | 218 59 | D2 | 51 133 |
| San Juan Guadalupe | 16 | 57 | 96 | 32 | 1 6 | 65 332 | 217 63 | D2 | 51 133 |
| San Juan Tepeyac | 16 | 56 | 96 | 36 | 1 6 | 65 393 | 217 50 | D2 | 51 133 |
| San Lorenzo Albarradas | 16 | 54 | 96 | 15 | 1 81 | 65 185 | 218 34 | D2 | 51 133 |
| San Lucas Quareme | 16 | 54 | 96 | 28 | 1 73 | 65 333 | 217 86 | D2 | 51 133 |
| San Pablo Villa de Melá | 16 | 55 | 96 | 22 | 1 68 | 65 249 | 218 06 | D2 | 51 133 |
| San Pedro Quareme | 16 | 47 | 96 | 2 | 1 82 | 65 14 | 219 01 | D2 | 51 133 |

| Municipio (Código) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud Elevación | Área | | | Tasa de Densidad | |
|---------------------------------|---------------|---------|----------------|---------|----------------------|-----------|--------|-------|------------------|--|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | Elevación | Área | CEM 4 | CEM 5 | |
| San Pedro Totolapa | 16 | 40 | 96 | 18 | 0.94 | 65 411 | 218.61 | D2 | 51 133 | |
| San Sebastián Abasco | 17 | 0 | 96 | 15 | 1.54 | 65 132 | 217.44 | D2 | 51 133 | |
| San Sebastián Tepepa | 16 | 3 | 96 | 17 | 1.6 | 65 509 | 217.44 | D2 | 51 133 | |
| Santa Ana del Valle | 17 | 0 | 96 | 28 | 1.66 | 65 241 | 217.70 | D2 | 51 133 | |
| Santa Cruz Papulula | 16 | 17 | 96 | 15 | 1.58 | 65 366 | 217.52 | D2 | 51 133 | |
| Santa María Cahabón | 17 | 0 | 96 | 26 | 1.54 | 65 331 | 217.40 | D2 | 51 133 | |
| Santa María Zepetlán | 16 | 14 | 96 | 21 | 1.02 | 65 556 | 218.66 | D2 | 51 133 | |
| Santiago Matías | 16 | 32 | 96 | 21 | 1.74 | 65 506 | 218.10 | D2 | 51 133 | |
| Santo Domingo Albarradas | 17 | 4 | 96 | 12 | 1.52 | 64 998 | 218.19 | D2 | 51 133 | |
| Totolán del Valle | 17 | 2 | 96 | 31 | 1.67 | 65 244 | 217.53 | D2 | 51 133 | |
| Hoactla de Matamoros | 16 | 37 | 96 | 28 | 1.6 | 65 287 | 217.78 | D2 | 51 133 | |
| Villa de Totulapas de Michoacán | 16 | 59 | 96 | 26 | 1.7 | 65 234 | 217.80 | G | 100 99 | |
| Mérida de Tacubaya | 16 | 32 | 96 | 15 | 0.1 | 66 844 | 214.21 | G | 100 99 | |
| Protepa de Don Luis | 16 | 26 | 97 | 38 | 0.42 | 66 76 | 215.07 | G | 100 99 | |
| San Agustín Chayuco | 16 | 24 | 97 | 48 | 0.25 | 66 684 | 215.53 | G | 100 99 | |
| San Andrés Huastepes | 16 | 20 | 97 | 55 | 0.22 | 66 825 | 215.15 | G | 100 99 | |
| San Antonio Tepetlapa | 16 | 32 | 98 | 4 | 0.39 | 66 728 | 214.67 | G | 100 99 | |
| San José Estancia Grande | 16 | 22 | 98 | 15 | 0.06 | 67 084 | 214.17 | G | 100 99 | |
| San Juan Bautista de Soto | 16 | 30 | 95 | 21 | 0.08 | 66 939 | 214.01 | G | 100 99 | |
| San Juan Cahabón | 16 | 37 | 98 | 9 | 0.42 | 66 701 | 214.33 | G | 100 99 | |
| San Juan Colorado | 16 | 27 | 97 | 37 | 0.44 | 66 734 | 215.09 | G | 100 99 | |
| San Lorenzo | 16 | 23 | 97 | 32 | 0.25 | 66 743 | 215.40 | G | 100 99 | |
| San Miguel Tlacuama | 16 | 25 | 98 | 3 | 0.27 | 66 829 | 214.89 | G | 100 99 | |
| San Pedro Atoyac | 16 | 29 | 97 | 39 | 0.23 | 66 725 | 214.95 | G | 100 99 | |
| San Pedro Jayán | 16 | 27 | 98 | 1 | 0.4 | 66 776 | 214.92 | G | 100 99 | |
| San Sebastián Tepepa | 16 | 32 | 98 | 9 | 0.24 | 66 781 | 214.46 | G | 100 99 | |
| Santa Catarina Mechoacán | 16 | 20 | 97 | 30 | 0.28 | 66 769 | 215.56 | G | 100 99 | |
| Santa María Cortijo | 16 | 27 | 98 | 17 | 0.08 | 66 945 | 214.26 | G | 100 99 | |
| Santa María Huastotlán | 16 | 18 | 97 | 53 | 0.29 | 66 854 | 215.41 | G | 100 99 | |
| Santiago Itayutla | 16 | 34 | 97 | 39 | 0.68 | 66 43 | 215.63 | G | 100 99 | |
| Santiago Jamiltepec | 16 | 17 | 97 | 49 | 0.44 | 66 805 | 215.68 | G | 100 99 | |
| Santiago Llano Grande | 16 | 29 | 98 | 17 | 0.07 | 66 913 | 214.21 | G | 100 99 | |
| Santiago Panotepa Nacional | 16 | 20 | 98 | 3 | 0.2 | 66 909 | 215.02 | G | 100 99 | |
| Santiago Tapetula | 16 | 20 | 98 | 27 | 0.06 | 67 161 | 214.02 | G | 100 99 | |
| Santiago Tepepa | 16 | 19 | 97 | 45 | 0.26 | 66 731 | 215.79 | G | 100 99 | |
| Santo Domingo Armenta | 16 | 19 | 98 | 22 | 0.06 | 67 125 | 214.26 | G | 100 99 | |
| San Gabriel Mixtepec | 16 | 6 | 97 | 3 | 0.69 | 66 487 | 217.75 | G | 100 99 | |
| San Juan La Haba | 16 | 9 | 97 | 7 | 0.6 | 66 464 | 217.58 | G | 100 99 | |
| San Juan Quetzahu | 16 | 18 | 97 | 19 | 1.56 | 66 46 | 216.86 | G | 100 99 | |
| San Miguel Panotlahuaca | 16 | 15 | 97 | 23 | 0.77 | 66 531 | 216.78 | G | 100 99 | |
| San Pedro Jalatlampa | 16 | 20 | 97 | 3 | 0.86 | 66 272 | 217.36 | G | 100 99 | |

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

| Municipio (Código) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud Elevación | Área | | | Tasa de Densidad | |
|-------------------------------------|---------------|---------|----------------|---------|----------------------|-----------|--------|-------|------------------|--|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | Elevación | Área | CEM 4 | CEM 5 | |
| San Pedro Mixtepec | 15 | 34 | 97 | 3 | 0.22 | 66 544 | 217.94 | G | 100 99 | |
| Santa Catarina Jaquela | 16 | 14 | 97 | 17 | 1.46 | 66 5 | 217.05 | G | 100 99 | |
| Santa María Temascaltepec | 16 | 10 | 97 | 12 | 1.32 | 66 505 | 217.36 | G | 100 99 | |
| Santiago Tepepa | 16 | 13 | 97 | 16 | 1.84 | 66 504 | 217.12 | G | 100 99 | |
| Santos Reyes Nopala | 16 | 6 | 97 | 9 | 0.46 | 66 533 | 217.59 | G | 100 99 | |
| Totolapas de Valdes | 16 | 18 | 97 | 33 | 0.37 | 66 854 | 216.30 | G | 100 99 | |
| Villa de Totulapas de Michoacán | 16 | 8 | 97 | 36 | 0.28 | 66 804 | 216.45 | G | 100 99 | |
| Xampico | 16 | 34 | 97 | 18 | 1.32 | 65 888 | 215.94 | G | 100 99 | |
| San Francisco Cahabón | 16 | 30 | 96 | 58 | 1.41 | 66 034 | 217.36 | G | 100 99 | |
| San Ildefonso Sola | 16 | 31 | 96 | 59 | 1.42 | 66 035 | 217.29 | G | 100 99 | |
| San Jacinto Tlacotepec | 16 | 31 | 97 | 23 | 1.08 | 66 302 | 216.35 | G | 100 99 | |
| San Lorenzo Texmelucan | 16 | 35 | 97 | 12 | 1.37 | 66 119 | 216.68 | G | 100 99 | |
| San Vicente La Haba | 16 | 42 | 97 | 1 | 2.21 | 65 888 | 216.92 | G | 100 99 | |
| Santa Cruz Zentropes | 16 | 32 | 97 | 30 | 0.95 | 66 363 | 216.04 | G | 100 99 | |
| San María Lachayo | 16 | 44 | 97 | 1 | 2.26 | 65 857 | 216.87 | G | 100 99 | |
| Santa María Sola | 16 | 34 | 97 | 1 | 1.46 | 66 012 | 217.13 | G | 100 99 | |
| Santa María Zamora | 16 | 39 | 97 | 20 | 1.32 | 66 145 | 216.25 | G | 100 99 | |
| Santiago Amoltepec | 16 | 38 | 97 | 30 | 1.68 | 66 269 | 215.88 | G | 100 99 | |
| Santiago Minus | 16 | 25 | 97 | 13 | 0.94 | 66 285 | 216.91 | G | 100 99 | |
| Santiago Teutilán | 16 | 41 | 97 | 15 | 1.71 | 66 059 | 216.40 | G | 100 99 | |
| Santo Domingo Tepehuac | 16 | 15 | 97 | 13 | 1.26 | 66 13 | 216.64 | G | 100 99 | |
| Villa Sola de Vega | 16 | 30 | 97 | 39 | 1.44 | 66 707 | 214.92 | G | 100 99 | |
| Zapotlán del Río | 16 | 52 | 97 | 14 | 1.39 | 65 876 | 216.15 | G | 100 99 | |
| Coates Altas | 16 | 32 | 96 | 40 | 1.54 | 65 805 | 218.00 | G | 100 99 | |
| Compañía, La | 16 | 33 | 96 | 49 | 1.38 | 65 892 | 217.62 | G | 100 99 | |
| Heroica Ciudad de Epitola de Crespo | 16 | 34 | 96 | 44 | 1.46 | 65 882 | 217.79 | G | 100 99 | |
| Pv. La | 16 | 38 | 96 | 48 | 1.49 | 65 804 | 217.53 | G | 100 99 | |
| San Agustín Amatepec | 16 | 31 | 96 | 47 | 1.36 | 65 9 | 217.76 | G | 100 99 | |
| San Andrés Zahuatl | 16 | 36 | 96 | 51 | 1.42 | 65 869 | 217.47 | G | 100 99 | |
| San Juan Lachigalla | 16 | 36 | 96 | 32 | 1.7 | 65 651 | 218.19 | G | 100 99 | |
| San Martín de los Cameros | 16 | 39 | 96 | 44 | 1.52 | 65 743 | 217.65 | G | 100 99 | |
| San Martín La Haba | 16 | 37 | 96 | 51 | 1.43 | 65 853 | 217.44 | G | 100 99 | |
| San Miguel Epitola | 16 | 35 | 96 | 44 | 1.45 | 65 805 | 217.76 | G | 100 99 | |
| San Vicente Cuatlán | 16 | 23 | 96 | 51 | 1.36 | 66 068 | 217.82 | G | 100 99 | |
| Zahuatl | 16 | 34 | 96 | 45 | 1.42 | 65 811 | 217.75 | G | 100 99 | |
| Yogana | 16 | 28 | 96 | 47 | 1.34 | 65 946 | 217.84 | G | 100 99 | |
| Asunción Orellán | 16 | 46 | 96 | 43 | 1.5 | 65 625 | 217.50 | G | 100 99 | |
| Magdalena Orellán | 16 | 42 | 96 | 43 | 1.54 | 65 686 | 217.61 | G | 100 99 | |
| Orellán de Morfín | 16 | 48 | 96 | 40 | 1.5 | 65 56 | 217.57 | G | 100 99 | |
| San Antonio Castillo Velasco | 16 | 48 | 96 | 41 | 1.48 | 65 572 | 217.51 | G | 100 99 | |

| Municipio (Cusaca) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | | Altitud | Clima | | | Tipo de Bosque |
|----------------------------|---------------|---------|----------------|---------|----------|---------|--------------------------|---------------------|--------|----------------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | Segundos | | Escala de Temperatura | Humedad Relativa | ZONA | |
| San Baltazar Chichispam | 16 | 46 | 96 | 29 | 1.54 | 65.400 | 218.04 | G | 100.99 | |
| San Domingo Coatlán | 16 | 45 | 96 | 41 | 1.15 | 65.638 | 217.61 | G | 100.99 | |
| San Jerónimo Taxah | 16 | 45 | 96 | 35 | 1.17 | 65.58 | 217.84 | G | 100.99 | |
| San José del Progreso | 16 | 41 | 96 | 41 | 1.38 | 65.679 | 217.71 | G | 100.99 | |
| San Juan Chilutza | 16 | 41 | 96 | 40 | 1.15 | 65.53 | 217.51 | G | 100.99 | |
| San Martín Hicoyte | 16 | 41 | 96 | 41 | 1.15 | 65.526 | 217.45 | G | 100.99 | |
| San Miguel Hicupam | 16 | 47 | 96 | 35 | 1.65 | 65.319 | 217.78 | G | 100.99 | |
| San Pedro Apostol | 16 | 44 | 96 | 43 | 1.15 | 65.656 | 217.56 | G | 100.99 | |
| San Pedro Martín | 16 | 44 | 96 | 42 | 1.15 | 65.641 | 217.60 | G | 100.99 | |
| San Pedro Taxah | 16 | 58 | 96 | 32 | 1.16 | 65.622 | 218.14 | G | 100.99 | |
| Santa Ana Zepah | 16 | 40 | 96 | 44 | 1.15 | 65.575 | 217.56 | G | 100.99 | |
| Santa Catarina Minus | 16 | 47 | 96 | 36 | 1.36 | 65.51 | 217.74 | G | 100.99 | |
| Santa Lucia Coatlán | 16 | 41 | 96 | 41 | 1.52 | 65.631 | 217.63 | G | 100.99 | |
| Santiago Apostol | 16 | 48 | 96 | 43 | 1.47 | 65.594 | 217.45 | G | 100.99 | |
| Santo Tomás Jaberza | 16 | 51 | 96 | 40 | 1.15 | 65.511 | 217.49 | G | 100.99 | |
| Taxe | 16 | 41 | 96 | 28 | 1.15 | 65.5 | 218.15 | G | 100.99 | |
| Mahualtán de Porfirio Díaz | 16 | 19 | 96 | 15 | 1.16 | 65.943 | 218.54 | G | 100.99 | |
| Mojang | 16 | 22 | 96 | 38 | 1.31 | 65.974 | 218.35 | G | 100.99 | |
| San Andrés Pasitán | 16 | 15 | 96 | 30 | 2 | 65.977 | 218.90 | G | 100.99 | |
| San Cristóbal Amatlán | 16 | 19 | 96 | 24 | 1.72 | 65.817 | 218.96 | G | 100.99 | |
| San Francisco Logneshe | 16 | 21 | 96 | 23 | 1.88 | 65.775 | 218.94 | G | 100.99 | |
| San Francisco Orolopetes | 16 | 6 | 96 | 13 | 2 | 65.882 | 219.74 | G | 100.99 | |
| San Ildefonso Amatlán | 16 | 20 | 96 | 29 | 1.54 | 65.86 | 218.74 | G | 100.99 | |
| San Jerónimo Coatlán | 16 | 14 | 96 | 32 | 1.74 | 66.216 | 218.03 | G | 100.99 | |
| San José del Penasco | 16 | 18 | 96 | 30 | 1.58 | 65.902 | 218.76 | G | 100.99 | |
| San José La Paz | 16 | 22 | 96 | 21 | 1.67 | 65.737 | 219.59 | G | 100.99 | |
| San Juan Mistepec | 16 | 16 | 96 | 18 | 2.05 | 65.792 | 219.27 | G | 100.99 | |
| San Juan Orolopetes | 16 | 8 | 96 | 15 | 2.08 | 65.876 | 219.61 | G | 100.99 | |
| San Luis Amatlán | 16 | 23 | 96 | 30 | 1.5 | 65.827 | 218.62 | G | 100.99 | |
| San Manuel Orolopetes | 16 | 5 | 96 | 24 | 2.38 | 66.027 | 219.35 | G | 100.99 | |
| San Mateo Río Hondo | 16 | 9 | 96 | 27 | 2.3 | 66.002 | 219.13 | G | 100.99 | |
| San Miguel Coatlán | 16 | 12 | 96 | 42 | 1.86 | 66.132 | 218.47 | G | 100.99 | |
| San Miguel Sohoatespec | 16 | 5 | 96 | 25 | 2.46 | 66.071 | 219.20 | G | 100.99 | |
| San Nicolás | 16 | 26 | 96 | 45 | 1.46 | 65.954 | 217.97 | G | 100.99 | |
| San Pablo Coatlán | 16 | 11 | 96 | 47 | 1.48 | 66.174 | 218.25 | G | 100.99 | |
| San Pedro Mistepec | 16 | 16 | 96 | 17 | 2.12 | 65.78 | 219.11 | G | 100.99 | |
| San Sebastián Coatlán | 16 | 12 | 96 | 49 | 1.98 | 66.211 | 218.20 | G | 100.99 | |
| San Sebastián Río Hondo | 16 | 11 | 96 | 28 | 2.42 | 65.984 | 219.03 | G | 100.99 | |
| San Simón Almolongas | 16 | 25 | 96 | 41 | 1.52 | 65.946 | 218.07 | G | 100.99 | |
| Santa Ana | 16 | 20 | 96 | 41 | 1.6 | 66.022 | 218.21 | G | 100.99 | |
| Santa Catarina Cuatla | 16 | 18 | 96 | 38 | 1.76 | 65.955 | 218.16 | G | 100.99 | |

| Municipio (Cusaca) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | | Altitud | Clima | | | Tipo de Bosque |
|--------------------------------|---------------|---------|----------------|---------|----------|---------|--------------------------|---------------------|--------|----------------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | Segundos | | Escala de Temperatura | Humedad Relativa | ZONA | |
| Santa Cruz Ayla | 16 | 19 | 96 | 40 | 1.82 | 66.003 | 218.35 | G | 100.99 | |
| Santa Lucia Mahualtán | 16 | 11 | 96 | 37 | 2 | 66.059 | 218.66 | G | 100.99 | |
| Santa María Orolopetes | 16 | 8 | 96 | 22 | 2.5 | 65.959 | 219.55 | G | 100.99 | |
| Santiago Ayla | 16 | 0 | 96 | 13 | 1.24 | 65.973 | 219.91 | G | 100.99 | |
| Santo Domingo Orolopetes | 16 | 9 | 96 | 19 | 2.32 | 65.948 | 219.43 | L | 100.99 | |
| Santo Tomás Tamazulapam | 16 | 16 | 96 | 35 | 1.17 | 65.94 | 218.63 | L | 100.99 | |
| Santos Anlapahua | 16 | 21 | 96 | 32 | 1.37 | 65.88 | 218.60 | G | 100.99 | |
| Aguaquem Tlacotalpa | 16 | 18 | 95 | 43 | 0.45 | 65.536 | 223.51 | G | 100.99 | |
| Nirajapa de Madro | 16 | 36 | 95 | 29 | 0.66 | 65.269 | 219.42 | G | 100.99 | |
| San Bartolomé Lantepes | 16 | 26 | 95 | 38 | 0.86 | 65.407 | 219.74 | G | 100.99 | |
| San Carlos Yustepec | 16 | 30 | 96 | 6 | 0.88 | 65.441 | 219.33 | G | 100.99 | |
| San Juan Juquila Mixes | 16 | 56 | 95 | 35 | 1.42 | 64.923 | 219.03 | G | 100.99 | |
| San Juan Laguna | 16 | 30 | 95 | 35 | 0.9 | 65.312 | 219.73 | G | 100.99 | |
| San Pedro Martín Quaxhapu | 16 | 25 | 96 | 15 | 1.82 | 65.622 | 219.13 | G | 100.99 | |
| Santa Ana Taxela | 16 | 39 | 95 | 35 | 0.7 | 64.178 | 219.49 | G | 100.99 | |
| Santa Catalina Quere | 16 | 19 | 96 | 16 | 1.95 | 65.723 | 219.26 | G | 100.99 | |
| Santa Catarina Quaxquiam | 16 | 19 | 96 | 17 | 2.1 | 65.735 | 219.22 | G | 100.99 | |
| Santa María Eratpec | 16 | 17 | 95 | 51 | 1.84 | 65.48 | 220.17 | G | 100.99 | |
| Santa María Quaxquiam | 16 | 16 | 96 | 3 | 2.16 | 65.635 | 219.83 | G | 100.99 | |
| Guerrita de Humboldt | 16 | 47 | 95 | 22 | 0.6 | 64.667 | 220.46 | G | 100.99 | |
| Magdalena Tequesistlán | 16 | 24 | 95 | 36 | 0.19 | 65.173 | 220.59 | G | 100.99 | |
| Magdalena Tlacolpetes | 16 | 30 | 95 | 12 | 0.09 | 64.794 | 221.28 | G | 100.99 | |
| Silena Cruz | 16 | 31 | 95 | 12 | 0.04 | 65.089 | 221.81 | G | 100.99 | |
| San Blas Atempu | 16 | 19 | 95 | 13 | 0.04 | 64.966 | 221.53 | G | 100.99 | |
| San Mateo del Mar | 16 | 12 | 94 | 59 | 0.01 | 64.893 | 222.24 | G | 100.99 | |
| San Miguel Tenango | 16 | 16 | 95 | 36 | 1.35 | 65.29 | 220.82 | G | 100.99 | |
| San Pedro Comitancillo | 16 | 29 | 95 | 9 | 0.07 | 64.772 | 221.41 | G | 100.99 | |
| San Pedro Huamelula | 16 | 1 | 95 | 40 | 0.08 | 65.558 | 221.10 | G | 100.99 | |
| San Pedro Huamelula | 16 | 15 | 95 | 9 | 0.02 | 64.974 | 221.81 | G | 100.99 | |
| Santa María Guernayato | 16 | 44 | 95 | 21 | 0.31 | 64.699 | 220.57 | G | 100.99 | |
| Santa María Jolupa del Marques | 16 | 26 | 95 | 27 | 0.16 | 65.035 | 220.66 | G | 100.99 | |
| Santa María Mixtequilla | 16 | 22 | 95 | 15 | 0.06 | 64.947 | 221.40 | G | 100.99 | |
| Santa María Totolapilla | 16 | 36 | 95 | 37 | 0.48 | 65.039 | 220.22 | G | 100.99 | |
| Santiago Astata | 15 | 59 | 95 | 40 | 0.03 | 65.587 | 221.16 | G | 100.99 | |
| Santiago La Paz | 16 | 41 | 95 | 32 | 0.8 | 64.875 | 220.26 | G | 100.99 | |
| Santiago Laclayá | 16 | 35 | 95 | 12 | 0.11 | 64.721 | 221.14 | G | 100.99 | |
| Santo Domingo Chibustán | 16 | 35 | 95 | 10 | 0.09 | 64.697 | 221.21 | G | 100.99 | |
| Santo Domingo Techaatespec | 16 | 20 | 95 | 14 | 0.02 | 64.984 | 221.49 | G | 100.99 | |
| Aguaquem Istalpetes | 16 | 30 | 95 | 3 | 0.03 | 64.684 | 221.59 | G | 100.99 | |
| Bosque de la Soledad, El | 16 | 48 | 95 | 7 | 0.24 | 64.471 | 220.96 | G | 100.99 | |
| Coahuila Tepes | 16 | 34 | 95 | 6 | 0.04 | 64.663 | 221.38 | G | 100.99 | |

TESIS COM
 FALLA DE ORIGEN
 C-38

| Municipio (Categoría) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud | | Área | | ZONA | Tipo de Balsa |
|------------------------------|---------------|---------|----------------|---------|---------|--------|-----------|------------------------------|------|---------------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | Metros | Metros | Hectáreas | Área en Kilómetros Cuadrados | | |
| Chahuacán | 16 | 17 | 94 | 12 | 01.0 | 01.0 | 62 228 | 223.70 | G | 100.99 |
| Españal, El | 16 | 29 | 95 | 2 | 01.02 | 01.02 | 64 686 | 231.66 | G | 100.99 |
| Juchitán de Zaragoza | 16 | 26 | 95 | 1 | 01.01 | 01.01 | 64 717 | 231.78 | G | 100.99 |
| México Romero | 16 | 52 | 95 | 2 | 01.18 | 01.18 | 64 352 | 231.02 | G | 100.99 |
| Reforma de Piedad | 16 | 24 | 94 | 27 | 01.02 | 01.02 | 64 321 | 231.00 | G | 100.99 |
| San Domingo del Mar | 16 | 19 | 94 | 45 | 01.01 | 01.01 | 64 618 | 232.53 | G | 100.99 |
| San Francisco del Mar | 16 | 20 | 94 | 31 | 01.01 | 01.01 | 64 426 | 232.98 | G | 100.99 |
| San Francisco Ichmatán | 16 | 21 | 94 | 29 | 01.01 | 01.01 | 64 588 | 233.02 | G | 100.99 |
| San Juan Guichinovas | 16 | 58 | 95 | 5 | 02.06 | 02.06 | 64 301 | 230.76 | G | 100.99 |
| San Miguel Chimalapa | 16 | 45 | 94 | 15 | 01.12 | 01.12 | 64 275 | 231.86 | G | 100.99 |
| San Pedro Tapachula | 16 | 22 | 94 | 12 | 01.04 | 01.04 | 64 159 | 231.56 | G | 100.99 |
| Santa María Chimalapa | 16 | 54 | 94 | 41 | 01.18 | 01.18 | 64 067 | 231.69 | G | 100.99 |
| Santa María Petapa | 16 | 49 | 95 | 7 | 02.06 | 02.06 | 64 457 | 230.93 | G | 100.99 |
| Santa María Xadani | 16 | 22 | 95 | 1 | 01.02 | 01.02 | 64 774 | 231.89 | G | 100.99 |
| Santiago Nilopecten | 16 | 44 | 94 | 17 | 01.06 | 01.06 | 64 304 | 232.38 | G | 100.99 |
| Santo Domingo Ingeniero | 16 | 15 | 94 | 46 | 01.04 | 01.04 | 64 402 | 232.04 | G | 100.99 |
| Santo Domingo Petapa | 16 | 49 | 95 | 8 | 02.25 | 02.25 | 64 169 | 230.40 | G | 100.99 |
| Santo Domingo Zanatepec | 16 | 28 | 94 | 21 | 01.06 | 01.06 | 64 189 | 231.09 | G | 100.99 |
| Unión Hidalgo | 16 | 29 | 94 | 30 | 01.02 | 01.02 | 64 538 | 232.07 | G | 100.99 |
| Candelaria Loxcha | 15 | 55 | 96 | 29 | 04.45 | 04.45 | 66 256 | 239.45 | G | 100.99 |
| Pluma Hidalgo | 15 | 55 | 96 | 25 | 1.1 | 1.1 | 66 185 | 239.60 | G | 100.99 |
| San Dionisio Ocotelán | 16 | 45 | 96 | 41 | 1.5 | 1.5 | 65 618 | 237.61 | G | 100.99 |
| San Jerónimo Tavahue | 16 | 43 | 96 | 35 | 1.7 | 1.7 | 65 538 | 237.89 | G | 100.99 |
| San José del Progreso | 16 | 41 | 96 | 41 | 1.58 | 1.58 | 65 679 | 237.71 | G | 100.99 |
| San Juan Chilutla | 16 | 50 | 96 | 40 | 1.5 | 1.5 | 65 531 | 237.51 | G | 100.99 |
| San Martín Tápachula | 16 | 51 | 96 | 41 | 1.5 | 1.5 | 65 526 | 237.45 | G | 100.99 |
| San Miguel Tápachula | 16 | 47 | 96 | 35 | 1.65 | 1.65 | 65 519 | 237.78 | G | 100.99 |
| San Pedro Apóstol | 16 | 44 | 96 | 43 | 1.5 | 1.5 | 65 656 | 237.56 | G | 100.99 |
| San Pedro Mártir | 16 | 44 | 96 | 42 | 1.5 | 1.5 | 65 644 | 237.60 | G | 100.99 |
| San Pedro Tavahue | 16 | 38 | 96 | 32 | 1.6 | 1.6 | 65 622 | 238.14 | G | 100.99 |
| Santa Ana Zephahe | 16 | 50 | 96 | 44 | 1.5 | 1.5 | 65 575 | 237.56 | G | 100.99 |
| Santa Catalina Miras | 16 | 47 | 96 | 36 | 1.56 | 1.56 | 65 531 | 237.74 | G | 100.99 |
| Santa Lucía Ocotelán | 16 | 44 | 96 | 41 | 1.52 | 1.52 | 65 611 | 237.63 | G | 100.99 |
| Santiago Apóstol | 16 | 48 | 96 | 43 | 1.17 | 1.17 | 65 594 | 237.45 | G | 100.99 |
| Santo Tomás Jalisco | 16 | 51 | 96 | 40 | 1.5 | 1.5 | 65 514 | 237.49 | G | 100.99 |
| Yaxuc | 16 | 43 | 96 | 28 | 1.5 | 1.5 | 65 5 | 238.15 | G | 100.99 |
| Mixahuatlán de Porfirio Díaz | 16 | 19 | 96 | 35 | 1.6 | 1.6 | 65 945 | 238.54 | G | 100.99 |
| Alonzo | 16 | 22 | 96 | 38 | 1.53 | 1.53 | 65 934 | 238.35 | G | 100.99 |
| San Andrés Paxtlán | 16 | 13 | 96 | 30 | 2 | 2 | 65 977 | 238.90 | G | 100.99 |
| San Cristóbal Amatlán | 16 | 19 | 96 | 24 | 1.72 | 1.72 | 65 817 | 238.96 | G | 100.99 |
| San Francisco Loquipec | 16 | 21 | 96 | 23 | 1.88 | 1.88 | 65 775 | 238.94 | G | 100.99 |

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

| Municipio (Categoría) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud | | Área | | ZONA | Tipo de Balsa |
|-----------------------------|---------------|---------|----------------|---------|---------|--------|-----------|------------------------------|------|---------------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | Metros | Metros | Hectáreas | Área en Kilómetros Cuadrados | | |
| San Francisco Ozolotepec | 16 | 6 | 96 | 13 | 2 | 2 | 65 882 | 239.74 | G | 100.99 |
| San Hierónimo Amatlán | 16 | 20 | 96 | 29 | 1.54 | 1.54 | 65 56 | 238.74 | G | 100.99 |
| San Jerónimo Cuatlán | 16 | 14 | 96 | 52 | 1.74 | 1.74 | 66 216 | 238.03 | G | 100.99 |
| San José del Peñasco | 16 | 18 | 96 | 51 | 1.58 | 1.58 | 65 932 | 238.76 | G | 100.99 |
| San José Las Vigueras | 16 | 22 | 96 | 21 | 1.67 | 1.67 | 65 717 | 238.98 | G | 100.99 |
| San Juan Mixtepec | 16 | 16 | 96 | 38 | 2.05 | 2.05 | 65 792 | 239.27 | G | 100.99 |
| San Juan Ozolotepec | 16 | 8 | 96 | 15 | 2.18 | 2.18 | 65 876 | 239.61 | G | 100.99 |
| San Luis Amatlán | 16 | 25 | 96 | 30 | 1.65 | 1.65 | 65 827 | 238.62 | G | 100.99 |
| San Manuel Ozolotepec | 16 | 3 | 96 | 24 | 2.28 | 2.28 | 66 027 | 239.35 | G | 100.99 |
| San Mateo Río Honda | 16 | 9 | 96 | 27 | 2.3 | 2.3 | 66 032 | 239.13 | G | 100.99 |
| San Miguel Cuatlán | 16 | 12 | 96 | 42 | 1.66 | 1.66 | 66 132 | 238.47 | G | 100.99 |
| San Miguel Sochiapetec | 16 | 5 | 96 | 28 | 2.46 | 2.46 | 66 074 | 239.20 | G | 100.99 |
| San Nicolás | 16 | 26 | 96 | 45 | 1.46 | 1.46 | 65 954 | 237.97 | G | 100.99 |
| San Pablo Cuatlán | 16 | 15 | 96 | 47 | 1.48 | 1.48 | 66 174 | 238.25 | G | 100.99 |
| San Pedro Mixtepec | 16 | 16 | 96 | 17 | 2.12 | 2.12 | 65 78 | 239.31 | G | 100.99 |
| San Sebastián Cuatlán | 16 | 12 | 96 | 49 | 1.98 | 1.98 | 66 213 | 238.20 | G | 100.99 |
| San Sebastián Río Honda | 16 | 11 | 96 | 28 | 2.42 | 2.42 | 65 984 | 239.03 | G | 100.99 |
| San Simón Ahimelungas | 16 | 25 | 96 | 43 | 1.52 | 1.52 | 65 946 | 238.07 | G | 100.99 |
| Santa Ana | 16 | 20 | 96 | 43 | 1.6 | 1.6 | 66 022 | 238.21 | G | 100.99 |
| Santa Catalina Cuatlán | 16 | 18 | 96 | 38 | 1.76 | 1.76 | 65 995 | 238.46 | G | 100.99 |
| Santa Cruz Xela | 16 | 19 | 96 | 40 | 1.82 | 1.82 | 66 031 | 238.35 | G | 100.99 |
| Santa Lucía Mixahuatlán | 16 | 11 | 96 | 37 | 2 | 2 | 66 069 | 238.69 | G | 100.99 |
| Santa María Ozolotepec | 16 | 8 | 96 | 22 | 2.5 | 2.5 | 65 959 | 239.35 | G | 100.99 |
| Santiago Xuma | 16 | 0 | 96 | 13 | 1.21 | 1.21 | 65 971 | 239.91 | G | 100.99 |
| Santo Domingo Ozolotepec | 16 | 9 | 96 | 19 | 2.32 | 2.32 | 65 938 | 239.43 | G | 100.99 |
| Santo Tomás Tamarulapam | 16 | 16 | 96 | 35 | 1.7 | 1.7 | 65 99 | 238.63 | G | 100.99 |
| Santo de Malpachua | 16 | 21 | 96 | 32 | 1.57 | 1.57 | 65 88 | 238.60 | G | 100.99 |
| Asunción Tlacotalta | 16 | 18 | 95 | 43 | 0.45 | 0.45 | 65 346 | 230.51 | G | 100.99 |
| Nayaju de Madro | 16 | 36 | 95 | 39 | 0.66 | 0.66 | 65 269 | 239.42 | G | 100.99 |
| San Bartolo Yaxtepec | 16 | 26 | 95 | 58 | 0.86 | 0.86 | 65 407 | 239.71 | G | 100.99 |
| San Carlos Yaxtepec | 16 | 30 | 96 | 6 | 0.88 | 0.88 | 65 441 | 239.33 | G | 100.99 |
| San Juan Juquila Miras | 16 | 36 | 95 | 55 | 1.42 | 1.42 | 64 923 | 239.03 | G | 100.99 |
| San Juan Lajuná | 16 | 30 | 95 | 55 | 0.9 | 0.9 | 65 312 | 239.73 | G | 100.99 |
| San Pedro Mártir Quezhuapa | 16 | 25 | 96 | 15 | 1.82 | 1.82 | 65 622 | 239.13 | G | 100.99 |
| Santa Ana Tavela | 16 | 39 | 95 | 55 | 0.7 | 0.7 | 65 178 | 239.49 | G | 100.99 |
| Santa Catalina Quere | 16 | 19 | 96 | 36 | 1.45 | 1.45 | 65 723 | 239.26 | G | 100.99 |
| Santa Catalina Quezahuatlán | 16 | 19 | 96 | 17 | 2.1 | 2.1 | 65 735 | 239.22 | G | 100.99 |
| Santa María Ecatepec | 16 | 17 | 95 | 53 | 1.81 | 1.81 | 65 48 | 230.17 | G | 100.99 |
| Santa María Quetzahuatlán | 16 | 16 | 96 | 3 | 2.16 | 2.16 | 65 615 | 239.83 | G | 100.99 |
| Cuesaca de Humboldt | 16 | 47 | 95 | 22 | 0.6 | 0.6 | 64 667 | 230.46 | G | 100.99 |
| Maripalme Tepehuatlán | 16 | 24 | 95 | 36 | 0.19 | 0.19 | 65 171 | 230.59 | G | 100.99 |

| Municipio (Cursiva) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud Elevación Anual | ZONA | Tipo de Suelo | |
|--------------------------------|---------------|---------|----------------|---------|-------------------------------|--------|---------------|--------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | | | |
| Magdalena Huastecas | 16 | 3 | 95 | 12 | 61.794 | 221.28 | G | 100.99 |
| Salina Cruz | 16 | 11 | 95 | 17 | 61.804 | 221.81 | G | 100.99 |
| San Blas Atempco | 16 | 19 | 95 | 13 | 61.804 | 221.55 | G | 100.99 |
| San Mateo del Mar | 16 | 12 | 94 | 36 | 61.811 | 222.24 | G | 100.99 |
| San Miguel Totomixtlahuacán | 16 | 16 | 95 | 56 | 61.835 | 220.82 | G | 100.99 |
| San Pedro Coahuatlan | 16 | 29 | 95 | 9 | 61.872 | 221.41 | G | 100.99 |
| San Pedro Huamelula | 16 | 3 | 95 | 40 | 61.888 | 221.10 | G | 100.99 |
| San Pedro Huastecas | 16 | 14 | 95 | 9 | 61.912 | 221.81 | G | 100.99 |
| Santa María Coahuatlan | 16 | 44 | 95 | 21 | 61.899 | 220.57 | G | 100.99 |
| Santa María Jalapa del Marques | 16 | 26 | 95 | 27 | 61.915 | 220.86 | G | 100.99 |
| Santa María Mixtequilla | 16 | 22 | 95 | 15 | 61.926 | 221.10 | G | 100.99 |
| Santa María Tototlapilla | 16 | 36 | 95 | 17 | 61.889 | 220.22 | G | 100.99 |
| Santiago Astata | 15 | 59 | 95 | 40 | 61.837 | 221.16 | G | 100.99 |
| Santiago Lazaguera | 16 | 41 | 95 | 32 | 61.875 | 220.26 | G | 100.99 |
| Santiago Lantigua | 16 | 35 | 95 | 12 | 61.721 | 221.14 | G | 100.99 |
| Santo Domingo Chahuatlan | 16 | 15 | 95 | 10 | 61.697 | 221.21 | G | 100.99 |
| Santo Domingo Tehuantepec | 16 | 20 | 95 | 11 | 61.642 | 221.49 | G | 100.99 |
| Asunción Istapetes | 16 | 30 | 95 | 3 | 61.684 | 221.59 | G | 100.99 |
| Buena Vista de la Soledad, El | 16 | 48 | 95 | 7 | 61.471 | 220.96 | G | 100.99 |
| Ciudad Istapetes | 16 | 34 | 95 | 6 | 61.694 | 221.38 | G | 100.99 |
| Chahuatlan | 16 | 17 | 94 | 12 | 61.228 | 224.70 | G | 100.99 |
| Esperanza, El | 16 | 29 | 95 | 2 | 61.666 | 221.66 | G | 100.99 |
| Juchitán de Zaragoza | 16 | 26 | 95 | 1 | 61.717 | 221.78 | G | 100.99 |
| Mata de Romero | 16 | 52 | 95 | 2 | 61.352 | 223.02 | G | 100.99 |
| Reforma de Pineda | 16 | 24 | 94 | 27 | 61.321 | 223.10 | G | 100.99 |
| San Domingo del Mar | 16 | 19 | 94 | 45 | 61.618 | 222.51 | G | 100.99 |
| San Francisco del Mar | 16 | 20 | 94 | 31 | 61.628 | 222.98 | G | 100.99 |
| San Francisco Juchitán | 16 | 21 | 94 | 29 | 61.368 | 223.02 | G | 100.99 |
| San Juan Guahabos | 16 | 58 | 95 | 3 | 61.301 | 220.76 | G | 100.99 |
| San Miguel Chimalapa | 16 | 43 | 94 | 45 | 61.275 | 221.86 | G | 100.99 |
| San Pedro Tapantepes | 16 | 22 | 94 | 12 | 61.159 | 223.56 | G | 100.99 |
| Santa María Chimalapa | 16 | 54 | 94 | 41 | 61.067 | 221.69 | G | 100.99 |
| Santa María Petapa | 16 | 49 | 95 | 7 | 61.457 | 220.93 | G | 100.99 |
| Santa María Xadani | 16 | 22 | 95 | 1 | 61.774 | 221.89 | G | 100.99 |
| Santiago Niltepec | 16 | 34 | 94 | 37 | 61.304 | 222.38 | G | 100.99 |
| Santo Domingo Ingenio | 16 | 15 | 94 | 16 | 61.402 | 222.04 | G | 100.99 |
| Santo Domingo Petapa | 16 | 49 | 95 | 8 | 61.469 | 220.90 | G | 100.99 |
| Santo Domingo Zanatepec | 16 | 28 | 94 | 21 | 61.189 | 223.09 | G | 100.99 |
| Unión Hidalgo | 16 | 29 | 94 | 50 | 61.538 | 222.07 | G | 100.99 |
| Yandari Loxicha | 15 | 55 | 96 | 29 | 66.236 | 219.45 | G | 100.99 |
| Pluma Hidalgo | 15 | 55 | 96 | 25 | 66.188 | 219.60 | G | 100.99 |

TESIS CON
 FALTA DE ORIGEN

| Municipio (Cursiva) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud Elevación Anual | ZONA | Tipo de Suelo | | |
|------------------------------|---------------|---------|----------------|---------|-------------------------------|--------|---------------|----|--------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | | | | |
| San Agustín Loxicha | 16 | 1 | 96 | 17 | 1.82 | 66.21 | 218.97 | G | 100.99 |
| San Baltazar Loxicha | 16 | 5 | 96 | 47 | 0.97 | 66.26 | 218.18 | G | 100.99 |
| San Bartolomé Loxicha | 15 | 58 | 96 | 42 | 1.19 | 66.343 | 218.87 | G | 100.99 |
| San Mateo Pinas | 16 | 0 | 96 | 21 | 1 | 66.054 | 219.65 | G | 100.99 |
| San Miguel del Puerto | 15 | 55 | 96 | 10 | 0.32 | 66.089 | 220.17 | G | 100.99 |
| San Pedro el Alto | 16 | 2 | 96 | 28 | 2.3 | 66.119 | 219.29 | G | 100.99 |
| San Pedro Poixtlan | 15 | 45 | 96 | 28 | 0.15 | 66.373 | 219.78 | G | 100.99 |
| Santa Catarina Loxicha | 16 | 4 | 96 | 45 | 1.21 | 66.288 | 218.58 | G | 100.99 |
| Santa María Colotepec | 15 | 54 | 96 | 36 | 0.05 | 66.567 | 218.44 | G | 100.99 |
| Santa María Huatulco | 15 | 50 | 96 | 19 | 0.22 | 66.191 | 219.97 | G | 100.99 |
| Santa María Tonameca | 15 | 45 | 96 | 33 | 0.04 | 66.432 | 219.50 | G | 100.99 |
| Santo Domingo de Morelos | 15 | 50 | 96 | 40 | 0.16 | 66.44 | 219.17 | G | 100.99 |
| Apizaco (Cursiva) | | | | | | | | | |
| Acatlán de Osorio | 18 | 12 | 96 | 3 | 1.18 | 65.104 | 212.25 | D2 | 51.133 |
| Amatlán | 20 | 3 | 97 | 48 | 1.21 | 63.132 | 210.46 | D3 | 67.834 |
| Amorós de Mota | 19 | 3 | 98 | 3 | 2.32 | 64.266 | 211.13 | D2 | 51.133 |
| Aguililla | 19 | 48 | 97 | 56 | 2.2 | 63.455 | 210.46 | D2 | 51.133 |
| Atempco | 19 | 50 | 97 | 28 | 1.94 | 63.161 | 211.47 | D2 | 51.133 |
| San Martín Atzacul | 18 | 24 | 97 | 44 | 1.8 | 64.721 | 212.73 | D2 | 51.133 |
| Atlixco | 18 | 54 | 98 | 26 | 1.84 | 64.63 | 210.42 | D2 | 51.133 |
| Atzacul | 18 | 49 | 97 | 35 | 1.93 | 64.42 | 211.74 | D2 | 51.133 |
| Atzacul | 18 | 33 | 98 | 33 | 1.14 | 65.045 | 210.59 | D2 | 51.133 |
| Santiago Atzacul | 18 | 49 | 98 | 35 | 1.8 | 64.797 | 210.16 | D2 | 51.133 |
| Atzacul | 18 | 54 | 97 | 19 | 2.66 | 63.967 | 210.01 | D2 | 51.133 |
| Atzacul | 18 | 11 | 98 | 23 | 0.86 | 65.314 | 211.48 | D2 | 51.133 |
| Ayotlán de Guerrero | 20 | 6 | 97 | 25 | 0.3 | 62.869 | 211.26 | D3 | 67.834 |
| San Andrés Calpan | 19 | 6 | 98 | 28 | 2.42 | 64.448 | 210.08 | D2 | 51.133 |
| Caltepec | 18 | 11 | 97 | 29 | 1.9 | 64.781 | 213.61 | D2 | 51.133 |
| Camocuilula | 20 | 2 | 97 | 46 | 0.72 | 63.131 | 210.56 | D3 | 67.834 |
| Cahuatlan | 20 | 4 | 97 | 36 | 0.7 | 63.005 | 210.89 | D3 | 67.834 |
| Coatepec | 20 | 4 | 97 | 44 | 1 | 63.079 | 210.59 | D3 | 67.834 |
| Coatlango | 18 | 37 | 98 | 10 | 1.2 | 64.762 | 211.42 | D2 | 51.133 |
| Santa María Coahuatlan | 18 | 12 | 98 | 48 | 0.71 | 65.534 | 210.44 | D2 | 51.133 |
| Cohuecan | 18 | 47 | 98 | 43 | 1.7 | 64.903 | 209.88 | D2 | 51.133 |
| Santa María Coahuatlan | 19 | 7 | 98 | 17 | 2.18 | 64.331 | 210.50 | D2 | 51.133 |
| Coahuatlan | 18 | 16 | 97 | 9 | 1.11 | 64.196 | 211.26 | D2 | 51.133 |
| Santa María Coahuatlan | 18 | 17 | 97 | 0 | 1.4 | 64.387 | 214.57 | D2 | 51.133 |
| San Vicente Coahuatlan | 18 | 25 | 97 | 50 | 1.88 | 64.764 | 212.47 | D2 | 51.133 |
| Cuapixtlan de Madero | 18 | 55 | 97 | 50 | 2.06 | 64.274 | 211.80 | D2 | 51.133 |
| San Esteban Cuauhtempco | 19 | 55 | 97 | 47 | 1.52 | 63.256 | 210.66 | D2 | 51.133 |
| Cuauhtempco | 18 | 37 | 98 | 1 | 2.11 | 64.346 | 211.31 | D2 | 51.133 |

| Municipio (Pueblo) | Latitud Norte Grados Minutos | Longitud Oeste Grados Minutos | Altitud Metros | Antena Elevación Armas ZONA | Tasa de lluvia mm/año | | | |
|------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-------------------|-----------------------------------|--------------------------|--------|----|--------|
| San Juan Cuautlan | 19 | 6 | 98 | 15 2.18 | 61329 | 210.59 | D2 | 51.133 |
| San Pedro Coahuila | 18 | 29 | 98 | 11 1.18 | 61400 | 211.55 | D2 | 51.133 |
| Ciudad de Cuertalan | 20 | 1 | 97 | 11 | 61408 | 211.11 | D3 | 67.834 |
| Cuicatlan | 19 | 56 | 97 | 17 2.42 | 61476 | 210.43 | D2 | 51.133 |
| Ciudad Serdan | 18 | 29 | 97 | 17 2.52 | 61505 | 212.60 | D2 | 51.133 |
| Chapulco | 18 | 58 | 97 | 21 2.02 | 61295 | 213.18 | D2 | 51.133 |
| Chautla de Tapia | 18 | 18 | 98 | 56 1 | 61322 | 210.80 | D2 | 51.133 |
| San Lorenzo Chautemco | 19 | 12 | 98 | 28 2.56 | 61318 | 209.96 | D2 | 51.133 |
| Chavarras | 20 | 6 | 97 | 32 1.3 | 61364 | 210.06 | D3 | 67.834 |
| Chahuastla | 19 | 12 | 97 | 4 1.8 | 61547 | 215.17 | D2 | 51.133 |
| Chetla | 18 | 31 | 98 | 15 1.12 | 61092 | 210.55 | D2 | 51.133 |
| Chignahuatlan | 18 | 39 | 98 | 4 1.5 | 61671 | 211.61 | D2 | 51.133 |
| Chignahuapan | 19 | 50 | 98 | 2 2.26 | 61477 | 210.19 | D2 | 51.133 |
| Chignahuila | 19 | 49 | 97 | 23 2 | 6111 | 211.68 | D2 | 51.133 |
| Chila | 17 | 58 | 97 | 32 1.62 | 61223 | 213.01 | D2 | 51.133 |
| Chila de la Sal | 18 | 6 | 98 | 29 0.96 | 61454 | 211.35 | D2 | 51.133 |
| Honey | 20 | 14 | 98 | 13 2.1 | 61174 | 209.30 | D2 | 51.133 |
| Rafael J. Garcia | 19 | 15 | 97 | 11 2.2 | 61568 | 212.85 | D2 | 51.133 |
| Chunucila | 18 | 12 | 98 | 16 1.1 | 61231 | 211.74 | D2 | 51.133 |
| Dominjo Arenas | 19 | 8 | 98 | 27 2.44 | 61406 | 210.08 | D2 | 51.133 |
| Eloasatlan | 18 | 31 | 98 | 37 1.48 | 61149 | 211.58 | D2 | 51.133 |
| San Juan Epitlan | 18 | 38 | 98 | 22 1.36 | 61859 | 210.92 | D2 | 51.133 |
| Esperanza | 18 | 31 | 97 | 22 2.44 | 61065 | 212.96 | D2 | 51.133 |
| Metlatonco | 20 | 44 | 97 | 31 0.32 | 62475 | 209.55 | D3 | 67.834 |
| San Pablo de las Tunas | 18 | 59 | 97 | 42 2.16 | 61131 | 212.02 | D2 | 51.133 |
| Guadalupe | 18 | 5 | 98 | 7 1.1 | 61258 | 212.26 | D2 | 51.133 |
| Guadalupe Victoria | 19 | 17 | 97 | 30 2.44 | 61624 | 212.47 | D2 | 51.133 |
| Bienvenido | 20 | 7 | 97 | 45 0.78 | 61018 | 210.49 | D3 | 67.834 |
| Huacahuila | 18 | 46 | 98 | 33 1.58 | 61828 | 210.31 | D2 | 51.133 |
| Huautla | 18 | 41 | 98 | 3 1.58 | 61629 | 211.60 | D2 | 51.133 |
| Huautlan de Jimeno | 20 | 10 | 98 | 3 1.54 | 61152 | 209.76 | D2 | 51.133 |
| Huautla | 20 | 6 | 97 | 37 0.54 | 62981 | 210.81 | D3 | 67.834 |
| Huautlan el Chico | 18 | 22 | 98 | 41 0.96 | 61302 | 210.50 | D2 | 51.133 |
| Huaytlan | 19 | 10 | 98 | 21 2.28 | 61345 | 210.16 | D2 | 51.133 |
| Huaytlan | 19 | 53 | 97 | 27 1.68 | 61002 | 211.45 | D2 | 51.133 |
| Huaytlanako | 19 | 56 | 97 | 17 0.7 | 62958 | 211.76 | D2 | 51.133 |
| Huaytlalpan | 20 | 2 | 97 | 42 0.94 | 61091 | 210.71 | D3 | 67.834 |
| Huixtlan | 19 | 58 | 97 | 42 0.9 | 6116 | 210.79 | D2 | 51.133 |
| Santa Clara Huixtla | 18 | 46 | 97 | 33 1.9 | 6145 | 211.88 | D2 | 51.133 |
| Atlixpazayan | 20 | 1 | 97 | 38 0.8 | 61073 | 210.88 | D3 | 67.834 |
| Isamiqui | 18 | 1 | 98 | 42 0.7 | 61661 | 210.93 | D2 | 51.133 |

TASA DE LLUVIA
FALLA DE ORIGEN

| Municipio (Pueblo) | Latitud Norte Grados Minutos | Longitud Oeste Grados Minutos | Altitud Metros | Antena Elevación Armas ZONA | Tasa de lluvia mm/año | | | |
|----------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-------------------|-----------------------------------|--------------------------|--------|----|--------|
| San Juan Huastla | 18 | 28 | 97 | 30 1.81 | 61216 | 212.40 | D2 | 51.133 |
| Matamoros | 19 | 37 | 97 | 49 2.1 | 61573 | 210.95 | D2 | 51.133 |
| Huixtla | 20 | 2 | 97 | 39 1.06 | 61068 | 210.82 | D3 | 67.834 |
| Barra de Matamoros | 18 | 56 | 98 | 28 1.3 | 61408 | 210.72 | D2 | 51.133 |
| Jalpan | 20 | 27 | 97 | 56 0.58 | 62805 | 209.69 | D3 | 67.834 |
| Jalpan | 18 | 16 | 98 | 31 0.81 | 61445 | 210.16 | D2 | 51.133 |
| Jonotla | 20 | 2 | 97 | 34 1 | 61019 | 211.01 | D3 | 67.834 |
| Jopala | 20 | 10 | 97 | 41 0.62 | 62452 | 210.58 | D3 | 67.834 |
| Quarela | 19 | 6 | 98 | 20 2.18 | 61375 | 210.40 | D2 | 51.133 |
| Nuevo Araya | 20 | 15 | 98 | 0 1.3 | 61075 | 209.81 | D3 | 67.834 |
| Nimayuca | 18 | 32 | 97 | 46 1.92 | 61611 | 212.47 | D2 | 51.133 |
| Saltillo | 19 | 17 | 97 | 17 2.9 | 61591 | 212.58 | D2 | 51.133 |
| Ciudad de Libres | 19 | 27 | 97 | 41 2.36 | 61662 | 211.46 | D2 | 51.133 |
| Miguel Alemán | 18 | 45 | 98 | 6 1.62 | 61392 | 211.40 | D2 | 51.133 |
| Mazapiltepec de Juarez | 19 | 7 | 97 | 42 2.4 | 61 | 211.85 | D2 | 51.133 |
| San Francisco Mixtlá | 18 | 54 | 97 | 54 2.08 | 61329 | 211.67 | D2 | 51.133 |
| Molcan | 18 | 44 | 97 | 54 1.86 | 61493 | 211.89 | D2 | 51.133 |
| Morcan Canada | 18 | 44 | 97 | 25 2.3 | 61208 | 213.01 | D2 | 51.133 |
| Narpan | 20 | 14 | 98 | 6 1.54 | 61312 | 209.37 | D2 | 51.133 |
| Nauayaca | 19 | 37 | 97 | 36 1.46 | 61321 | 211.03 | D2 | 51.133 |
| San Buenaventura Nahuatlan | 19 | 3 | 98 | 25 2.22 | 61471 | 210.26 | D2 | 51.133 |
| Nordes Bravo | 19 | 37 | 97 | 18 2.5 | 61278 | 212.12 | D2 | 51.133 |
| Nopalan de la Grana | 19 | 13 | 97 | 49 2.48 | 61969 | 211.45 | D2 | 51.133 |
| Ocotepes | 19 | 33 | 97 | 39 2.44 | 61544 | 211.41 | D2 | 51.133 |
| Santa Clara Ocosingo | 18 | 58 | 98 | 18 2.1 | 61489 | 210.65 | D2 | 51.133 |
| Ollinda | 20 | 6 | 97 | 41 0.74 | 61018 | 210.66 | D3 | 67.834 |
| Oriental | 19 | 22 | 97 | 37 2.36 | 61706 | 211.72 | D2 | 51.133 |
| Pahuatlan de Valle | 20 | 16 | 98 | 9 1.1 | 61305 | 209.41 | D2 | 51.133 |
| Palmar de Bravo | 18 | 50 | 97 | 33 2.2 | 6119 | 212.37 | D2 | 51.133 |
| Panotepes | 20 | 31 | 97 | 56 0.64 | 62738 | 209.61 | D3 | 67.834 |
| Piedras Blancas | 18 | 5 | 97 | 35 1.36 | 61339 | 212.73 | D2 | 51.133 |
| Paxtla | 18 | 12 | 98 | 15 1.1 | 61221 | 211.78 | D2 | 51.133 |
| Petrolan de Zaragoza | 19 | 3 | 98 | 12 2.16 | 61351 | 210.78 | D2 | 51.133 |
| Quechoblanco | 18 | 37 | 97 | 39 2.16 | 61335 | 212.18 | D2 | 51.133 |
| Quetzalten | 19 | 15 | 97 | 8 1.96 | 61538 | 212.96 | D2 | 51.133 |
| Rafael Lara Grajales | 19 | 15 | 97 | 48 2.38 | 61959 | 211.49 | D2 | 51.133 |
| Reyes de Juárez, Los | 18 | 37 | 97 | 48 2.12 | 61222 | 211.84 | D2 | 51.133 |
| San Andrés Cholula | 19 | 3 | 98 | 18 2.14 | 61406 | 210.54 | D2 | 51.133 |
| San Antonio Canada | 18 | 30 | 97 | 17 1.7 | 61354 | 213.63 | D2 | 51.133 |
| Tehuacan | 18 | 48 | 98 | 20 1.78 | 61674 | 210.78 | D2 | 51.133 |
| San Felipe Teotlahuapan | 19 | 14 | 98 | 30 2.42 | 61333 | 209.84 | D2 | 51.133 |

| Municipio (Pueblo) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud (Elevación) | Área | | Tiempo de Travesía | |
|------------------------------------|---------------|---------|----------------|---------|------------------------|-----------|-------------------------|--------------------|--------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | Elevación | Área (Km ²) | Zona | Horas |
| San Felipe Tepatlán | 20 | 5 | 97 | 18 | 106 | 63,099 | 210.42 | D2 | 67.834 |
| San Gabriel Chiles | 18 | 19 | 97 | 21 | 1,222 | 64,571 | 213.74 | D2 | 51.133 |
| San Gregorio Atzacampa | 19 | 2 | 98 | 21 | 2,144 | 64,451 | 210.44 | D2 | 51.133 |
| San Jerónimo Texcámpam | 19 | 1 | 98 | 21 | 2,144 | 64,495 | 210.15 | D2 | 51.133 |
| San Jerónimo Acazacatlan | 18 | 13 | 97 | 35 | 1,133 | 65,009 | 212.55 | D2 | 51.133 |
| San José Chuapa | 19 | 14 | 97 | 16 | 2,306 | 65,921 | 211.55 | D2 | 51.133 |
| San José Muhatzán | 18 | 17 | 97 | 17 | 1,111 | 64,562 | 213.91 | D2 | 51.133 |
| San Juan Atenco | 19 | 3 | 97 | 32 | 2,444 | 65,956 | 212.27 | D2 | 51.133 |
| San Juan Atzacampa | 18 | 15 | 98 | 1 | 1,261 | 64,541 | 211.59 | D2 | 51.133 |
| San Martín Tepehuacán de Labastida | 19 | 17 | 98 | 26 | 2,241 | 64,216 | 209.91 | D2 | 51.133 |
| San Martín Totoltepec | 18 | 19 | 98 | 20 | 1,132 | 64,823 | 210.98 | D2 | 51.133 |
| San Mateo Tlalaxiá | 19 | 19 | 98 | 30 | 2,444 | 64,249 | 209.74 | D2 | 51.133 |
| San Miguel Huatán | 18 | 0 | 97 | 46 | 1,774 | 65,113 | 213.20 | D2 | 51.133 |
| San Miguel Axistla | 19 | 10 | 98 | 18 | 2,222 | 64,291 | 210.39 | D2 | 51.133 |
| San Nicolás de Bureos, Atoyac | 19 | 10 | 97 | 33 | 2,444 | 65,864 | 212.13 | D2 | 51.133 |
| San Nicolás los Ranchos | 19 | 4 | 98 | 29 | 2,446 | 64,491 | 210.09 | D2 | 51.133 |
| San Pablo Amacuzac | 18 | 7 | 98 | 3 | 1,114 | 65,206 | 212.29 | D2 | 51.133 |
| Chilgala de Ravadaba | 19 | 3 | 98 | 18 | 2,222 | 64,406 | 210.54 | D2 | 51.133 |
| San Pedro Yelolotlaxiá | 18 | 7 | 98 | 4 | 1,112 | 65,196 | 212.33 | D2 | 51.133 |
| San Salvador el Sevo | 19 | 8 | 97 | 38 | 2,333 | 65,945 | 211.98 | D2 | 51.133 |
| San Salvador el Verde | 19 | 16 | 98 | 31 | 2,444 | 64,308 | 209.76 | D2 | 51.133 |
| San Salvador Huastola | 18 | 55 | 97 | 16 | 2,004 | 64,233 | 211.96 | D2 | 51.133 |
| Tlaoltepec de Díaz | 18 | 24 | 96 | 51 | 0,333 | 64,182 | 214.75 | D2 | 51.133 |
| Santa Catalina Tlaxiá | 18 | 37 | 98 | 3 | 1,111 | 64,714 | 211.61 | D2 | 51.133 |
| Santa Inés Ahuacatlan | 18 | 25 | 98 | 1 | 1,111 | 64,872 | 212.04 | D2 | 51.133 |
| Santa Isabel Cholula | 19 | 0 | 98 | 23 | 2,111 | 64,503 | 210.41 | D2 | 51.133 |
| Santiago Muhatzán | 18 | 33 | 97 | 26 | 1,778 | 64,396 | 213.22 | D2 | 51.133 |
| Santo Domingo Huachatlán | 18 | 44 | 98 | 10 | 1,344 | 64,646 | 211.26 | D2 | 51.133 |
| Santo Tomás Huaytapan | 18 | 53 | 97 | 52 | 2,022 | 64,326 | 211.77 | D2 | 51.133 |
| Saltrepec | 19 | 7 | 97 | 43 | 2,444 | 64,011 | 211.81 | D2 | 51.133 |
| Sancti Spiritus | 18 | 54 | 97 | 58 | 2,111 | 64,367 | 211.51 | D2 | 51.133 |
| Teacahuac | 18 | 53 | 97 | 44 | 2,022 | 64,249 | 212.08 | D2 | 51.133 |
| Tecomanlán | 18 | 6 | 98 | 19 | 0,999 | 65,358 | 211.75 | D2 | 51.133 |
| Tehuacán | 18 | 28 | 97 | 21 | 1,644 | 64,457 | 213.41 | D2 | 51.133 |
| Tehuacanillo | 18 | 20 | 98 | 16 | 1,066 | 65,099 | 211.56 | D2 | 51.133 |
| Texcámpam | 20 | 10 | 97 | 23 | 0,222 | 62,785 | 211.25 | D3 | 67.834 |
| Tlaxiá | 18 | 43 | 98 | 15 | 1,422 | 64,711 | 211.09 | D2 | 51.133 |
| Tlaxiá de los Reyes | 18 | 28 | 98 | 46 | 1 | 65,249 | 210.17 | D2 | 51.133 |
| Tlaxiá de López | 18 | 33 | 97 | 33 | 1,111 | 64,466 | 212.95 | D2 | 51.133 |
| Tlaxiá de Rodríguez | 20 | 0 | 97 | 48 | 1,544 | 65,182 | 210.52 | D3 | 67.834 |
| Tlaxiá de Hidalgo | 19 | 4 | 97 | 58 | 2,338 | 64,202 | 211.30 | D2 | 51.133 |

| Municipio (Pueblo) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud (Elevación) | Área | | Tiempo de Travesía | |
|--------------------------------|---------------|---------|----------------|---------|------------------------|-----------|-------------------------|--------------------|--------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | Elevación | Área (Km ²) | Zona | Horas |
| Tlaxiá | 18 | 38 | 97 | 54 | 2,222 | 64,263 | 211.58 | D2 | 51.133 |
| San Felipe Tepemasahuac | 18 | 44 | 98 | 36 | 1,822 | 64,948 | 210.15 | D2 | 51.133 |
| Tlaxiá | 18 | 43 | 98 | 27 | 1,448 | 64,823 | 210.64 | D2 | 51.133 |
| Tlaxiá | 19 | 58 | 97 | 30 | 1,688 | 65,234 | 210.49 | D2 | 51.133 |
| Tlaxiá | 18 | 58 | 98 | 41 | 1,199 | 65,035 | 210.16 | D2 | 51.133 |
| Tlaxiá de Rodríguez | 18 | 33 | 97 | 56 | 1,777 | 64,666 | 212.91 | D2 | 51.133 |
| Tlaxiá de los Reyes | 19 | 29 | 97 | 30 | 2,344 | 65,524 | 211.84 | D2 | 51.133 |
| Tlaxiá de los Reyes Cuauhtémoc | 18 | 49 | 97 | 51 | 1,944 | 64,401 | 211.82 | D2 | 51.133 |
| Tlaxiá de los Reyes | 19 | 49 | 97 | 48 | 1,777 | 65,465 | 210.74 | D2 | 51.133 |
| Tlaxiá de los Reyes | 19 | 29 | 97 | 26 | 1,866 | 65,144 | 211.45 | D2 | 51.133 |
| Tlaxiá | 19 | 49 | 97 | 22 | 1,944 | 64,112 | 211.72 | D2 | 51.133 |
| Tlaxiá de los Reyes | 18 | 39 | 98 | 27 | 2,144 | 64,556 | 210.27 | D2 | 51.133 |
| Tlaxiá | 18 | 36 | 98 | 33 | 1,222 | 64,995 | 210.52 | D2 | 51.133 |
| Tlaxiá de los Reyes | 18 | 40 | 97 | 39 | 1,944 | 64,412 | 212.56 | D2 | 51.133 |
| Tlaxiá de los Reyes | 20 | 20 | 98 | 4 | 1,344 | 62,991 | 209.53 | D2 | 51.133 |
| Tlaxiá de los Reyes | 19 | 7 | 97 | 25 | 2,666 | 64,835 | 212.50 | D2 | 51.133 |
| Santa Rita Tlaxiá | 19 | 20 | 98 | 15 | 2,644 | 64,277 | 209.52 | D2 | 51.133 |
| Tlaxiá de los Reyes | 19 | 10 | 98 | 20 | 2,222 | 64,308 | 210.31 | D2 | 51.133 |
| Tlaxiá de los Reyes | 18 | 52 | 97 | 53 | 2 | 64,332 | 211.75 | D2 | 51.133 |
| Tlaxiá | 20 | 8 | 97 | 35 | 1,111 | 65,113 | 210.10 | D3 | 67.834 |
| Tlaxiá | 20 | 7 | 97 | 51 | 1,111 | 65,093 | 210.27 | D3 | 67.834 |
| Tlaxiá | 18 | 42 | 98 | 32 | 1,444 | 64,886 | 210.43 | D2 | 51.133 |
| Ciudad de Tlaxiá de los Reyes | 19 | 51 | 97 | 29 | 1,944 | 65,154 | 211.42 | D2 | 51.133 |
| Tlaxiá | 20 | 25 | 98 | 1 | 0,866 | 62,881 | 209.54 | D2 | 51.133 |
| Tlaxiá | 18 | 53 | 98 | 34 | 2,066 | 64,721 | 210.12 | D2 | 51.133 |
| Tlaxiá | 18 | 50 | 97 | 30 | 1,988 | 64,356 | 211.91 | D2 | 51.133 |
| Tlaxiá de los Reyes | 18 | 13 | 97 | 51 | 1,366 | 64,927 | 212.70 | D2 | 51.133 |
| Tlaxiá de los Reyes | 18 | 2 | 98 | 26 | 1,111 | 65,492 | 211.56 | D2 | 51.133 |
| Tlaxiá de los Reyes | 20 | 4 | 97 | 35 | 0,544 | 62,996 | 210.93 | D3 | 67.834 |
| Tlaxiá de los Reyes | 18 | 50 | 98 | 2 | 2 | 64,471 | 211.45 | D2 | 51.133 |
| Verde de Carranza | 20 | 30 | 97 | 40 | 0,111 | 62,611 | 210.23 | D3 | 67.834 |
| Santa María del Monte | 18 | 32 | 97 | 12 | 2,666 | 64,271 | 213.77 | D2 | 51.133 |
| Rayacatlan de Bravo | 18 | 14 | 97 | 58 | 1,266 | 65,022 | 212.41 | D2 | 51.133 |
| Tlaxiá de los Reyes | 20 | 16 | 97 | 57 | 1,111 | 62,998 | 209.87 | D3 | 67.834 |
| Tlaxiá | 18 | 3 | 98 | 31 | 1,222 | 65,523 | 211.34 | D2 | 51.133 |
| San Juan Xuxtepec | 19 | 47 | 97 | 19 | 1,944 | 63,124 | 211.87 | D2 | 51.133 |
| Cerro de Mayo | 19 | 49 | 97 | 40 | 2,111 | 63,291 | 211.04 | D2 | 51.133 |
| Tlaxiá de los Reyes | 18 | 39 | 98 | 20 | 1,344 | 64,823 | 210.98 | D2 | 51.133 |
| Tlaxiá de los Reyes | 19 | 58 | 97 | 37 | 1,044 | 63,113 | 210.97 | D2 | 51.133 |
| Tlaxiá | 18 | 42 | 97 | 46 | 1,944 | 64,448 | 212.24 | D2 | 51.133 |
| Yaotepec | 19 | 52 | 97 | 28 | 1,777 | 63,128 | 211.43 | D2 | 51.133 |

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

| Municipio (País) | Coord. Norte | | Coord. Oeste | | Altitud | | Área | | | Tipo de Bando |
|---|--------------|---------|--------------|---------|---------|-----------|--------|------|--------|---------------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | metros | Elevación | Área | ZONA | | |
| Abasco | 18 | 47 | 97 | 40 | 2.1 | 64 948 | 212 36 | D2 | 51 133 | |
| Abasco | 18 | 35 | 98 | 4 | 1.28 | 64 737 | 211 50 | D2 | 51 133 | |
| Abasco | 19 | 32 | 97 | 35 | 1.8 | 63 194 | 211 17 | D2 | 51 133 | |
| Abasco | 19 | 36 | 97 | 37 | 2.04 | 63 331 | 210 26 | D2 | 51 133 | |
| Abasco | 18 | 20 | 97 | 28 | 1.48 | 64 626 | 213 44 | D2 | 51 133 | |
| Abasco | 20 | 11 | 97 | 42 | 0.64 | 63 137 | 210 75 | D1 | 67 834 | |
| Abasco | 19 | 46 | 97 | 33 | 2.3 | 63 274 | 211 37 | D2 | 51 133 | |
| Abasco | 19 | 43 | 97 | 40 | 2 | 63 588 | 211 17 | D2 | 51 133 | |
| Abasco | 20 | 13 | 97 | 33 | 0.86 | 62 978 | 210 44 | D1 | 67 834 | |
| Abasco | 18 | 20 | 97 | 15 | 1.12 | 64 144 | 213 94 | D2 | 51 133 | |
| Abasco | 19 | 38 | 97 | 43 | 0.0011 | 63 169 | 210 75 | D2 | 51 133 | |
| Abasco | 20 | 0 | 97 | 36 | 1.04 | 63 071 | 210 97 | D1 | 67 834 | |
| Abasco | 18 | 20 | 97 | 1 | 2.34 | 64 15 | 214 47 | D2 | 51 133 | |
| Agrupación geográfica de Querétaro | | | | | | | | | | |
| Abasco | 20 | 11 | 100 | 9 | 2.62 | 64 181 | 214 78 | D2 | 51 133 | |
| Abasco | 21 | 8 | 99 | 37 | 2.32 | 62 94 | 205 09 | D2 | 51 133 | |
| Abasco | 21 | 3 | 99 | 41 | 0.98 | 62 533 | 204 53 | D2 | 51 133 | |
| Abasco | 20 | 42 | 99 | 49 | 2.04 | 63 486 | 216 06 | D2 | 51 133 | |
| Abasco | 20 | 47 | 100 | 3 | 1.9 | 63 304 | 214 41 | D2 | 51 133 | |
| Abasco | 20 | 32 | 100 | 26 | 1.82 | 63 917 | 215 73 | D2 | 51 133 | |
| Abasco | 20 | 40 | 99 | 54 | 1.97 | 63 539 | 214 89 | D2 | 51 133 | |
| Abasco | 20 | 22 | 101 | 16 | 2.28 | 64 04 | 214 31 | D2 | 51 133 | |
| Abasco | 21 | 11 | 99 | 28 | 0.76 | 62 781 | 215 36 | D2 | 51 133 | |
| Abasco | 21 | 11 | 99 | 19 | 1.04 | 62 749 | 215 74 | D2 | 51 133 | |
| Abasco | 20 | 36 | 100 | 20 | 1.85 | 63 823 | 210 91 | D2 | 51 133 | |
| Abasco | 20 | 30 | 100 | 9 | 1.91 | 63 817 | 214 46 | D2 | 51 133 | |
| Abasco | 21 | 3 | 99 | 49 | 1.33 | 63 119 | 214 71 | D2 | 51 133 | |
| Abasco | 20 | 36 | 100 | 24 | 1.82 | 63 852 | 210 75 | D2 | 51 133 | |
| Abasco | 20 | 53 | 99 | 34 | 2.45 | 63 114 | 215 43 | D2 | 51 133 | |
| Abasco | 20 | 23 | 99 | 59 | 1.92 | 63 894 | 214 98 | D2 | 51 133 | |
| Abasco | 20 | 31 | 99 | 53 | 1.88 | 63 709 | 215 08 | D2 | 51 133 | |
| Abasco | 20 | 53 | 99 | 56 | 1.56 | 63 311 | 214 56 | D2 | 51 133 | |
| Agrupación geográfica de Querétaro | | | | | | | | | | |
| Abasco | 20 | 11 | 86 | 56 | 0 | 55 118 | 229 44 | G | 100 99 | |
| Abasco | 19 | 35 | 88 | 3 | 0.01 | 56 724 | 229 09 | G | 100 99 | |
| Abasco | 21 | 15 | 86 | 45 | 0 | 54 422 | 228 74 | G | 100 99 | |
| Abasco | 18 | 30 | 88 | 18 | 0.01 | 37 774 | 240 28 | G | 100 99 | |
| Abasco | 21 | 10 | 86 | 50 | 0.01 | 54 552 | 228 73 | G | 100 99 | |
| Abasco | 19 | 45 | 88 | 42 | 0.02 | 37 123 | 227 89 | G | 100 99 | |
| Abasco | 21 | 6 | 87 | 29 | 0.02 | 55 119 | 227 89 | G | 100 99 | |
| Abasco | 20 | 37 | 87 | 5 | 0.01 | 55 165 | 229 09 | G | 100 99 | |

| Municipio | Coord. Norte | | Coord. Oeste | | Área | Área | | | Tipo de Bando |
|---|--------------|---------|--------------|---------|------|-----------|--------|------|---------------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | Elevación | Área | ZONA | |
| Agrupación geográfica de Sonora | | | | | | | | | |
| Abasco | 25 | 48 | 119 | 0 | 0.01 | 59 844 | 184 46 | F | 26 011 |
| Abasco | 25 | 22 | 118 | 10 | 0.03 | 60 338 | 182 41 | D1 | 39 928 |
| Abasco | 25 | 22 | 107 | 33 | 0.2 | 60 283 | 183 63 | D1 | 39 928 |
| Abasco | 23 | 17 | 116 | 4 | 0.12 | 62 515 | 187 88 | D1 | 39 928 |
| Abasco | 24 | 25 | 116 | 41 | 0.38 | 61 286 | 186 07 | D1 | 39 928 |
| Abasco | 24 | 48 | 107 | 23 | 0.06 | 60 922 | 184 32 | D1 | 39 928 |
| Abasco | 26 | 43 | 118 | 20 | 0.22 | 58 772 | 181 93 | D1 | 39 928 |
| Abasco | 23 | 55 | 116 | 54 | 0.02 | 61 884 | 185 66 | D1 | 39 928 |
| Abasco | 22 | 50 | 105 | 47 | 0.02 | 62 986 | 188 75 | D1 | 39 928 |
| Abasco | 26 | 25 | 118 | 37 | 0.08 | 59 125 | 181 31 | D1 | 39 928 |
| Abasco | 25 | 34 | 108 | 28 | 0.05 | 60 099 | 181 70 | D1 | 39 928 |
| Abasco | 23 | 14 | 116 | 25 | 0.01 | 62 621 | 187 03 | D1 | 39 928 |
| Abasco | 25 | 29 | 107 | 55 | 0.08 | 60 171 | 182 98 | D1 | 39 928 |
| Abasco | 22 | 59 | 105 | 51 | 0.02 | 62 826 | 188 53 | D1 | 39 928 |
| Abasco | 25 | 28 | 118 | 5 | 0.03 | 60 199 | 182 60 | D1 | 39 928 |
| Abasco | 25 | 56 | 116 | 25 | 0.14 | 61 818 | 186 83 | D1 | 39 928 |
| Abasco | 25 | 49 | 108 | 13 | 0.08 | 59 802 | 182 26 | D1 | 39 928 |
| Abasco | 24 | 46 | 107 | 42 | 0.01 | 60 983 | 183 58 | D1 | 39 928 |
| Agrupación geográfica de San Luis Potosí | | | | | | | | | |
| Abasco | 22 | 24 | 100 | 10 | 1.83 | 62 232 | 210 32 | D2 | 51 133 |
| Abasco | 22 | 8 | 99 | 36 | 1.26 | 61 883 | 214 18 | D2 | 51 133 |
| Abasco | 21 | 37 | 99 | 1 | 0.1 | 62 158 | 215 99 | D2 | 51 133 |
| Abasco | 22 | 15 | 100 | 39 | 1.64 | 62 196 | 210 46 | D2 | 51 133 |
| Abasco | 22 | 0 | 99 | 39 | 1.2 | 62 043 | 214 19 | D2 | 51 133 |
| Abasco | 23 | 41 | 100 | 53 | 2.68 | 60 738 | 210 00 | D2 | 51 133 |
| Abasco | 23 | 49 | 100 | 43 | 1.7 | 60 533 | 210 27 | D2 | 51 133 |
| Abasco | 22 | 26 | 100 | 17 | 1.15 | 61 853 | 210 35 | D2 | 51 133 |
| Abasco | 22 | 13 | 100 | 48 | 2.04 | 62 29 | 210 33 | D2 | 51 133 |
| Abasco | 22 | 24 | 99 | 36 | 1.25 | 61 602 | 210 93 | D2 | 51 133 |
| Abasco | 21 | 37 | 100 | 1 | 0.98 | 62 256 | 210 39 | D2 | 51 133 |
| Abasco | 21 | 36 | 98 | 58 | 0.2 | 62 152 | 210 12 | D2 | 51 133 |
| Abasco | 21 | 59 | 99 | 1 | 0.07 | 61 777 | 215 63 | D2 | 51 133 |
| Abasco | 21 | 32 | 98 | 54 | 0.16 | 62 189 | 210 34 | D2 | 51 133 |
| Abasco | 23 | 8 | 101 | 7 | 2.01 | 61 419 | 199 88 | D2 | 51 133 |
| Abasco | 22 | 13 | 98 | 23 | 0.05 | 61 216 | 210 81 | D2 | 51 133 |
| Abasco | 22 | 37 | 100 | 24 | 1.64 | 61 704 | 210 93 | D2 | 51 133 |
| Abasco | 21 | 33 | 98 | 58 | 0.38 | 62 204 | 210 17 | D2 | 51 133 |
| Abasco | 21 | 35 | 99 | 34 | 0.92 | 62 446 | 214 77 | D2 | 51 133 |
| Abasco | 23 | 39 | 100 | 30 | 1.57 | 60 689 | 210 55 | D2 | 51 133 |
| Abasco | 22 | 16 | 101 | 7 | 2.02 | 62 357 | 210 55 | D2 | 51 133 |

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

| Municipio (San Luis Potosí) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud | Área | | | Tipo de Suelo |
|---------------------------------|---------------|---------|----------------|---------|---------|-----------|----------------------|------|---------------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | Hectáreas | Kilómetros Cuadrados | ZONA | |
| Abasco | 22 | 45 | 101 | 5 | 172 | 11822 | 20121 | D2 | 51133 |
| Acámbaro | 21 | 51 | 96 | 36 | 098 | 62103 | 20432 | D2 | 51133 |
| Abasco | 21 | 56 | 100 | 0 | 098 | 62267 | 20344 | D2 | 51133 |
| Salinas de Hidalgo | 22 | 58 | 101 | 43 | 207 | 62175 | 19893 | D2 | 51133 |
| San Antonio | 21 | 57 | 98 | 51 | 012 | 62103 | 20626 | D2 | 51133 |
| San Carlos de Acosta | 21 | 59 | 99 | 49 | 034 | 62187 | 20113 | D2 | 51133 |
| San Luis Potosí | 22 | 0 | 100 | 38 | 186 | 62127 | 20100 | D2 | 51133 |
| San Martín Chulucuitlán | 21 | 22 | 98 | 46 | 034 | 62249 | 20704 | D2 | 51133 |
| San Nicolás Tolentino | 22 | 15 | 100 | 55 | 146 | 62156 | 20189 | D2 | 51133 |
| Santa Catarina | 21 | 59 | 99 | 50 | 081 | 62146 | 20186 | D2 | 51133 |
| Santa María del Río | 21 | 48 | 100 | 44 | 171 | 62712 | 20181 | D2 | 51133 |
| Santo Domingo | 23 | 19 | 101 | 44 | 197 | 61433 | 19832 | D2 | 51133 |
| San Vicente Tancitaro | 21 | 43 | 98 | 35 | 004 | 61848 | 20687 | D2 | 51133 |
| Solidad de Guadalupe Sánchez | 22 | 11 | 100 | 56 | 185 | 62178 | 20165 | D2 | 51133 |
| Tamamoc | 21 | 55 | 98 | 25 | 036 | 62014 | 20487 | D2 | 51133 |
| Tamazunchale | 21 | 16 | 98 | 48 | 014 | 62116 | 20684 | D2 | 51133 |
| Tampacán | 21 | 24 | 98 | 44 | 012 | 62217 | 20685 | D2 | 51133 |
| Tampamolón Corona | 21 | 53 | 98 | 49 | 011 | 62132 | 20651 | D2 | 51133 |
| Temesco | 22 | 0 | 98 | 47 | 002 | 61651 | 20611 | D2 | 51133 |
| Tehuacán | 21 | 40 | 98 | 53 | 014 | 62043 | 20624 | D2 | 51133 |
| Tehuacán de Esperedo | 21 | 36 | 98 | 40 | 005 | 62008 | 20680 | D2 | 51133 |
| Tlaxiangua | 21 | 40 | 100 | 34 | 178 | 62787 | 20235 | D2 | 51133 |
| Tlaxiangua | 21 | 53 | 100 | 37 | 171 | 60545 | 19970 | D2 | 51133 |
| Tehuacán | 22 | 56 | 101 | 6 | 179 | 61629 | 20006 | D2 | 51133 |
| Villa de Arriaga | 21 | 53 | 100 | 23 | 216 | 62856 | 20019 | D2 | 51133 |
| Villa de Guadalupe | 21 | 22 | 100 | 45 | 163 | 61032 | 20053 | D2 | 51133 |
| Villa de la Paz | 21 | 41 | 100 | 42 | 18 | 60671 | 20041 | D2 | 51133 |
| Villa de Ramos | 22 | 50 | 100 | 55 | 22 | 62023 | 19823 | D2 | 51133 |
| Villa de Reyes | 21 | 48 | 100 | 56 | 182 | 62791 | 20137 | D2 | 51133 |
| Villa de Hidalgo | 22 | 27 | 100 | 41 | 167 | 61994 | 20041 | D2 | 51133 |
| Villa Juárez | 22 | 19 | 100 | 16 | 131 | 61971 | 20249 | D2 | 51133 |
| Ánima de Terrazas | 21 | 26 | 98 | 32 | 011 | 62277 | 20652 | D2 | 51133 |
| Abasco | 21 | 23 | 98 | 59 | 016 | 62384 | 20630 | D2 | 51133 |
| Villa de Zaragoza | 22 | 2 | 100 | 44 | 197 | 62161 | 20164 | D2 | 51133 |
| Villa de Arista | 22 | 39 | 100 | 51 | 161 | 61843 | 20086 | D2 | 51133 |
| Matlapa | 21 | 20 | 98 | 50 | 012 | 62144 | 20670 | D2 | 51133 |
| Santiago El | 22 | 31 | 99 | 19 | 027 | 61355 | 20446 | D2 | 51133 |
| Asociación Agraria de Comuneros | | | | | | | | | |
| Acrochi | 29 | 50 | 110 | 14 | 06 | 55195 | 17792 | F | 26011 |
| Agua Prieta | 31 | 20 | 109 | 33 | 122 | 53503 | 17931 | D1 | 39928 |
| Alamos | 27 | 1 | 108 | 56 | 038 | 58441 | 18059 | D1 | 39928 |

TESIS CON
 FUENTE DE ORIGEN

| Municipio (Sonora) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud | Área | | | Tipo de Suelo |
|----------------------|---------------|---------|----------------|---------|---------|-----------|----------------------|------|---------------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | Hectáreas | Kilómetros Cuadrados | ZONA | |
| Altar | 30 | 45 | 111 | 50 | 042 | 54092 | 17185 | F | 26011 |
| Arivaca | 28 | 56 | 109 | 11 | 048 | 56245 | 18003 | F | 26011 |
| Arizpe | 30 | 20 | 110 | 30 | 08 | 54626 | 17800 | F | 26011 |
| Atlatlán | 30 | 51 | 111 | 35 | 057 | 53961 | 17536 | F | 26011 |
| Bahía de los Angeles | 29 | 49 | 109 | 9 | 07 | 55253 | 18010 | F | 26011 |
| Bahía de Kino | 29 | 59 | 109 | 24 | 046 | 56187 | 17930 | F | 26011 |
| Barragán | 30 | 21 | 108 | 56 | 102 | 54225 | 18053 | D1 | 39928 |
| Bavispa | 30 | 38 | 109 | 58 | 104 | 54293 | 17830 | D1 | 39928 |
| Bay | 27 | 33 | 110 | 5 | 002 | 57816 | 17804 | F | 26011 |
| Béni | 30 | 0 | 110 | 13 | 068 | 53006 | 17797 | F | 26011 |
| Bermejo | 29 | 43 | 110 | 10 | 058 | 53333 | 17805 | F | 26011 |
| Bispe | 30 | 29 | 108 | 56 | 1 | 54473 | 18053 | D1 | 39928 |
| Benjamín Hill | 30 | 10 | 111 | 7 | 071 | 54773 | 17619 | F | 26011 |
| Hermina Calveta | 30 | 43 | 112 | 10 | 028 | 54061 | 17421 | F | 26011 |
| Ciudad Obregón | 27 | 29 | 109 | 56 | 004 | 57897 | 17841 | F | 26011 |
| Canoa | 30 | 59 | 110 | 18 | 16 | 53884 | 17786 | F | 26011 |
| Carbó | 29 | 41 | 110 | 37 | 047 | 55334 | 17647 | F | 26011 |
| Colorado, La | 28 | 48 | 110 | 35 | 039 | 56363 | 17713 | F | 26011 |
| Casimiro | 30 | 30 | 110 | 42 | 086 | 54607 | 17701 | F | 26011 |
| Campes | 30 | 0 | 109 | 47 | 074 | 5502 | 17883 | D1 | 39928 |
| Dorsadoren | 29 | 37 | 109 | 28 | 066 | 55463 | 17946 | F | 26011 |
| Empalme | 27 | 58 | 110 | 49 | 001 | 57303 | 17656 | F | 26011 |
| El Hoyo | 26 | 55 | 109 | 38 | 001 | 58554 | 17904 | F | 26011 |
| Fronteras | 30 | 54 | 109 | 34 | 112 | 53997 | 17929 | D1 | 39928 |
| Granados | 29 | 32 | 109 | 19 | 054 | 55178 | 17977 | F | 26011 |
| Hermina Guaymas | 27 | 55 | 110 | 54 | 001 | 57355 | 17637 | F | 26011 |
| Hermosillo | 29 | 7 | 110 | 58 | 021 | 5598 | 17637 | F | 26011 |
| Huachineta | 30 | 13 | 108 | 58 | 108 | 54777 | 18046 | D1 | 39928 |
| Huachineta | 29 | 54 | 109 | 18 | 056 | 5514 | 17980 | F | 26011 |
| Huatabampo | 26 | 50 | 109 | 39 | 001 | 58649 | 17900 | F | 26011 |
| Huatabampo | 29 | 55 | 110 | 13 | 064 | 55103 | 17796 | F | 26011 |
| Imuris | 30 | 47 | 110 | 52 | 084 | 54085 | 17675 | F | 26011 |
| Magdalena de Kino | 30 | 38 | 110 | 58 | 076 | 54251 | 17654 | F | 26011 |
| Mazatán | 29 | 0 | 110 | 8 | 054 | 56153 | 17808 | F | 26011 |
| Moctezuma | 29 | 48 | 109 | 41 | 062 | 5525 | 17903 | F | 26011 |
| Naco | 31 | 20 | 109 | 37 | 142 | 53496 | 17856 | D1 | 39928 |
| Nácori Chao | 29 | 41 | 108 | 59 | 082 | 55387 | 18041 | D1 | 39928 |
| Nacozari de García | 30 | 22 | 109 | 41 | 11 | 54015 | 17904 | D1 | 39928 |
| Navolato | 27 | 5 | 109 | 27 | 004 | 58365 | 17945 | F | 26011 |
| Hermina Nogales | 31 | 19 | 110 | 57 | 12 | 53474 | 17664 | F | 26011 |
| Obispos | 26 | 28 | 109 | 12 | 018 | 56778 | 17930 | F | 26011 |

| Municipio (Servicio) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud | Área | | ZONA | Tasa de Huma- nidad (%) |
|---|---------------|---------|----------------|---------|---------|-----------|----------------------|------|----------------------------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | Hectáreas | Kilómetros Cuadrados | | |
| Apulco | 29 | 56 | 110 | 58 | 0.64 | 55,066 | 177.13 | F | 26,011 |
| Apulco | 29 | 15 | 111 | 44 | 0.48 | 41,063 | 175.05 | F | 26,011 |
| Atlixco | 30 | 01 | 112 | 3 | 0.32 | 54,111 | 174.43 | F | 26,011 |
| Puerto Fortuna | 31 | 19 | 113 | 32 | 0.01 | 53,219 | 171.71 | F | 26,011 |
| Atlixco | 27 | 31 | 109 | 13 | 0.2 | 57,869 | 179.89 | F | 26,011 |
| Atlixco | 29 | 11 | 110 | 34 | 0.34 | 53,117 | 177.24 | F | 26,011 |
| Atlixco | 27 | 50 | 109 | 27 | 0.43 | 57,505 | 179.64 | F | 26,011 |
| Atlixco | 28 | 3 | 109 | 14 | 0.41 | 56,112 | 179.94 | F | 26,011 |
| San Felipe de Jesús | 29 | 52 | 110 | 14 | 0.62 | 53,116 | 177.93 | F | 26,011 |
| San Javier | 28 | 56 | 109 | 44 | 0.74 | 56,622 | 178.89 | F | 26,011 |
| San Luis Río Colorado | 32 | 28 | 114 | 46 | 0.03 | 51,736 | 169.71 | F | 26,011 |
| San Miguel de Huentelajas | 29 | 29 | 110 | 44 | 0.4 | 53,575 | 176.89 | F | 26,011 |
| San Pedro de la Cueva | 29 | 17 | 109 | 44 | 0.34 | 53,84 | 178.91 | F | 26,011 |
| Santa Ana | 30 | 33 | 111 | 7 | 0.68 | 54,336 | 176.23 | F | 26,011 |
| Santa Cruz | 31 | 14 | 110 | 36 | 1.36 | 53,587 | 177.30 | F | 26,011 |
| Sera | 31 | 6 | 111 | 23 | 0.78 | 53,692 | 175.78 | F | 26,011 |
| Soyopa | 28 | 46 | 109 | 38 | 0.29 | 56,433 | 179.10 | F | 26,011 |
| Soyopa Grande | 28 | 24 | 109 | 53 | 0.21 | 56,847 | 178.56 | F | 26,011 |
| Tepache | 29 | 32 | 109 | 32 | 0.6 | 55,537 | 179.32 | F | 26,011 |
| Tehuacan | 30 | 24 | 111 | 32 | 0.51 | 54,477 | 175.40 | F | 26,011 |
| Tehuacan | 30 | 53 | 111 | 28 | 0.63 | 53,932 | 175.59 | F | 26,011 |
| Unas | 29 | 26 | 110 | 23 | 0.38 | 53,649 | 177.59 | F | 26,011 |
| Villa Hidalgo | 30 | 10 | 109 | 19 | 0.62 | 54,835 | 179.77 | D1 | 39,928 |
| Villa Panguaza | 29 | 7 | 109 | 58 | 0.72 | 56,025 | 178.42 | F | 26,011 |
| Yecora | 28 | 22 | 108 | 36 | 1.54 | 56,893 | 180.56 | D1 | 39,928 |
| Zimatlán | 31 | 52 | 112 | 31 | 0.4 | 52,666 | 173.11 | F | 26,011 |
| Aspectos geográficos de Tamaulipas | | | | | | | | | |
| Balmán | 17 | 48 | 93 | 32 | 0.03 | 60,907 | 226.18 | G | 100,99 |
| Candauas | 17 | 59 | 93 | 22 | 0.02 | 62,164 | 222.57 | G | 100,99 |
| Fronteira | 18 | 32 | 92 | 38 | 0.01 | 61,352 | 223.10 | G | 100,99 |
| Villahermosa | 17 | 59 | 92 | 56 | 0.01 | 61,839 | 223.38 | G | 100,99 |
| Comakakó | 18 | 15 | 93 | 13 | 0.01 | 61,826 | 222.45 | G | 100,99 |
| Candauas | 18 | 3 | 93 | 10 | 0.03 | 61,958 | 222.85 | G | 100,99 |
| Emiliano Zapata | 17 | 44 | 91 | 45 | 0.02 | 61,131 | 225.90 | G | 100,99 |
| Humantla | 17 | 50 | 93 | 23 | 0.02 | 62,304 | 222.77 | G | 100,99 |
| Salpa | 17 | 41 | 92 | 48 | 0.02 | 61,961 | 224.04 | G | 100,99 |
| Salpa de Méndez | 18 | 10 | 93 | 3 | 0.01 | 61,772 | 222.89 | G | 100,99 |
| Jenata | 18 | 5 | 92 | 8 | 0.01 | 61,116 | 221.68 | G | 100,99 |
| Nacuanpan | 17 | 45 | 92 | 35 | 0.01 | 61,267 | 224.39 | G | 100,99 |
| Nacuanpan | 18 | 9 | 93 | 1 | 0.01 | 61,262 | 222.97 | G | 100,99 |
| Parícuti | 18 | 21 | 93 | 12 | 0.01 | 61,7 | 222.28 | G | 100,99 |

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

| Municipio (Servicio) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud | Área | | ZONA | Tasa de Huma- nidad (%) |
|---|---------------|---------|----------------|---------|---------|-----------|----------------------|------|----------------------------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | Hectáreas | Kilómetros Cuadrados | | |
| Atlixco | 17 | 35 | 92 | 49 | 0.02 | 62,084 | 221.22 | G | 100,99 |
| Atlixco | 17 | 32 | 92 | 57 | 0.04 | 62,228 | 224.05 | G | 100,99 |
| Tehuacan de Pino Suárez | 17 | 28 | 91 | 25 | 0.02 | 61,078 | 226.90 | G | 100,99 |
| Aspectos geográficos de Tamaulipas | | | | | | | | | |
| Abasco | 24 | 3 | 98 | 22 | 0.07 | 59,33 | 216.15 | D2 | 51,133 |
| Altamira | 22 | 35 | 98 | 4 | 0.13 | 60,364 | 216.81 | D2 | 51,133 |
| Altamira | 22 | 23 | 97 | 56 | 0.03 | 60,846 | 217.62 | D2 | 51,133 |
| Atlixco | 22 | 33 | 98 | 5 | 0.2 | 61,216 | 216.95 | D2 | 51,133 |
| Burgos | 24 | 36 | 98 | 47 | 0.16 | 58,565 | 215.56 | D2 | 51,133 |
| Bustamante | 23 | 26 | 99 | 45 | 1.68 | 60,371 | 212.71 | D2 | 51,133 |
| Ciudad Camargo | 26 | 18 | 98 | 50 | 0.15 | 57,162 | 212.43 | D2 | 51,133 |
| Casas | 25 | 43 | 98 | 44 | 0.15 | 59,841 | 214.67 | D2 | 51,133 |
| Ciudad Madero | 22 | 15 | 97 | 50 | 0.01 | 60,932 | 217.96 | D2 | 51,133 |
| Cruillas | 24 | 45 | 98 | 32 | 0.23 | 58,672 | 214.22 | D2 | 51,133 |
| Concepción | 23 | 2 | 99 | 9 | 0.34 | 60,739 | 214.37 | D2 | 51,133 |
| Concepción | 22 | 49 | 98 | 25 | 0.08 | 60,633 | 216.16 | D2 | 51,133 |
| Cárdenas | 23 | 35 | 98 | 39 | 0.16 | 59,739 | 213.97 | D2 | 51,133 |
| Nueva Ciudad Guerrero | 26 | 33 | 99 | 13 | 0.1 | 57,043 | 211.50 | D1 | 39,928 |
| Ciudad Cardenas Diaz Ordaz | 26 | 13 | 98 | 15 | 0.04 | 57,15 | 212.99 | D2 | 51,133 |
| Hidalgo | 24 | 14 | 99 | 26 | 0.33 | 59,592 | 212.75 | D2 | 51,133 |
| Juárez | 23 | 24 | 99 | 22 | 0.74 | 60,447 | 213.58 | D2 | 51,133 |
| Santander Jiménez | 24 | 13 | 98 | 29 | 0.11 | 59,208 | 214.77 | D2 | 51,133 |
| Uruapan | 23 | 19 | 99 | 1 | 0.28 | 60,384 | 214.41 | D2 | 51,133 |
| Villa Madero | 24 | 33 | 99 | 36 | 0.48 | 59,322 | 212.15 | D2 | 51,133 |
| Ciudad Marte | 22 | 45 | 98 | 58 | 0.08 | 60,955 | 215.02 | D2 | 51,133 |
| Hermosillo Matamoros | 25 | 52 | 97 | 30 | 0.01 | 57,059 | 215.39 | D2 | 51,133 |
| Mérida | 25 | 7 | 98 | 35 | 0.08 | 58,308 | 215.83 | D2 | 51,133 |
| Mier | 26 | 25 | 99 | 9 | 0.07 | 57,16 | 211.72 | D1 | 39,928 |
| Ciudad Miguel Alemán | 26 | 23 | 99 | 1 | 0.05 | 57,144 | 210.01 | D1 | 39,928 |
| Atlixco | 23 | 34 | 99 | 45 | 1.86 | 60,429 | 212.60 | D2 | 51,133 |
| Nuevo Laredo | 27 | 29 | 99 | 31 | 0.15 | 56,154 | 210.29 | D1 | 39,928 |
| Nuevo Morelos | 22 | 32 | 99 | 13 | 0.26 | 61,293 | 214.67 | D2 | 51,133 |
| Orcampo | 22 | 50 | 99 | 20 | 0.35 | 61,03 | 214.14 | D2 | 51,133 |
| Nueva Villa de Padilla | 24 | 2 | 98 | 54 | 0.15 | 59,581 | 214.05 | D2 | 51,133 |
| Palmitas | 23 | 18 | 99 | 32 | 1.26 | 60,622 | 213.30 | D2 | 51,133 |
| Reynosa | 26 | 4 | 98 | 17 | 0.02 | 57,186 | 213.70 | D2 | 51,133 |
| Ciudad Río Bravo | 25 | 59 | 98 | 5 | 0.03 | 57,19 | 214.16 | D2 | 51,133 |
| San Carlos | 24 | 34 | 98 | 36 | 0.44 | 59,034 | 213.54 | D2 | 51,133 |
| San Fernando | 24 | 50 | 98 | 9 | 0.04 | 58,419 | 214.94 | D2 | 51,133 |
| San Nicolás | 24 | 41 | 98 | 49 | 0.7 | 58,862 | 211.69 | D2 | 51,133 |
| Soto La Marina | 23 | 46 | 98 | 12 | 0.01 | 59,549 | 216.75 | D2 | 51,133 |

| Municipio (Municipios) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud Arenm | Área | | | Tipo de Zona ZONA | Tasa de Hacia 2010/15 |
|--------------------------------------|---------------|---------|----------------|---------|------------------|-----------|-------|------|----------------------|--------------------------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | Elevación | Área | ZONA | | |
| Amacuzac | 22 | 13 | 57 | 52 | 6101 | 60983 | 20793 | D2 | 51.133 | |
| Amatlán | 22 | 10 | 58 | 42 | 6117 | 61031 | 20118 | D2 | 51.133 | |
| Atlix | 22 | 10 | 57 | 48 | 6102 | 57398 | 20496 | D2 | 51.133 | |
| Atlix | 22 | 11 | 58 | 50 | 6102 | 60103 | 20777 | D2 | 51.133 | |
| Atlix | 22 | 10 | 58 | 29 | 6108 | 59364 | 20246 | D2 | 51.133 | |
| Atlix | 22 | 10 | 58 | 38 | 6109 | 60098 | 20489 | D2 | 51.133 | |
| Aspecto geográfico de Tlaxala | | | | | | | | | | |
| Amazac de Guerrero | 19 | 21 | 58 | 10 | 23 | 60033 | 21048 | D2 | 51.133 | |
| Apaxtlán | 19 | 20 | 58 | 12 | 23 | 60068 | 21042 | D2 | 51.133 | |
| Atlix | 19 | 22 | 58 | 12 | 23 | 60068 | 21017 | D2 | 51.133 | |
| Atlix | 19 | 26 | 57 | 48 | 26 | 61745 | 21122 | D2 | 51.133 | |
| Atlix | 19 | 25 | 58 | 8 | 23 | 60948 | 21047 | D2 | 51.133 | |
| Calpulalpan | 19 | 15 | 58 | 34 | 25 | 60016 | 20926 | D2 | 51.133 | |
| Coahuac | 19 | 19 | 57 | 39 | 23 | 60775 | 21171 | D2 | 51.133 | |
| Coahuac | 19 | 18 | 57 | 46 | 24 | 60858 | 21146 | D2 | 51.133 | |
| Coahuac | 19 | 21 | 58 | 8 | 24 | 60996 | 21065 | D2 | 51.133 | |
| Chalchicomula | 19 | 26 | 58 | 12 | 23 | 60085 | 21044 | D2 | 51.133 | |
| Munoz | 19 | 28 | 58 | 12 | 24 | 60915 | 21025 | D2 | 51.133 | |
| Esperanza | 19 | 27 | 58 | 25 | 24 | 60707 | 20977 | D2 | 51.133 | |
| Huamantla | 19 | 19 | 57 | 55 | 25 | 60926 | 21110 | D2 | 51.133 | |
| Huamantla | 19 | 28 | 58 | 21 | 25 | 60017 | 20990 | D2 | 51.133 | |
| Villa Mariano Matamoros | 19 | 20 | 58 | 23 | 24 | 60169 | 20999 | D2 | 51.133 | |
| Orizaba | 19 | 15 | 57 | 53 | 25 | 60974 | 21126 | D2 | 51.133 | |
| Mazatecohuacán | 19 | 11 | 58 | 11 | 23 | 60206 | 21066 | D2 | 51.133 | |
| Coahuac | 19 | 20 | 58 | 10 | 23 | 60105 | 21030 | D2 | 51.133 | |
| Tepehuala | 19 | 16 | 58 | 23 | 22 | 60236 | 21007 | D2 | 51.133 | |
| Santa Cruz | 19 | 29 | 58 | 28 | 27 | 60063 | 20961 | D2 | 51.133 | |
| Ciudad de Nueva Amalá | 19 | 29 | 58 | 32 | 27 | 60099 | 20945 | D2 | 51.133 | |
| Atlix | 19 | 13 | 58 | 12 | 23 | 60184 | 21056 | D2 | 51.133 | |
| Nativitas | 19 | 14 | 58 | 19 | 22 | 60232 | 21027 | D2 | 51.133 | |
| Panotla | 19 | 19 | 58 | 16 | 22 | 60122 | 21028 | D2 | 51.133 | |
| Villa Vaente Guerrero | 19 | 7 | 58 | 10 | 23 | 60265 | 21077 | D2 | 51.133 | |
| Santa Cruz Tlaxala | 19 | 21 | 58 | 9 | 23 | 60021 | 21051 | D2 | 51.133 | |
| Temascaltepec | 19 | 9 | 58 | 12 | 22 | 60251 | 21065 | D2 | 51.133 | |
| Tepehuala | 19 | 14 | 58 | 11 | 23 | 60139 | 21058 | D2 | 51.133 | |
| Tepehuala | 19 | 15 | 58 | 14 | 22 | 6017 | 21045 | D2 | 51.133 | |
| Temascaltepec | 19 | 28 | 57 | 35 | 24 | 60778 | 21091 | D2 | 51.133 | |
| Tepehuala | 19 | 26 | 58 | 6 | 24 | 60913 | 21053 | D2 | 51.133 | |
| Tepehuala | 19 | 14 | 58 | 18 | 22 | 60223 | 21031 | D2 | 51.133 | |
| Tlaxala de Amatepec | 19 | 19 | 58 | 14 | 22 | 60105 | 21036 | D2 | 51.133 | |
| Tlaxala | 19 | 17 | 58 | 7 | 25 | 60719 | 21026 | D2 | 51.133 | |

| Municipio (Municipios) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud Arenm | Área | | | Tipo de Zona ZONA | Tasa de Hacia 2010/15 |
|--------------------------------------|---------------|---------|----------------|---------|------------------|-----------|-------|------|----------------------|--------------------------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | Elevación | Área | ZONA | | |
| Atlix | 19 | 23 | 58 | 2 | 23 | 60926 | 21074 | D2 | 51.133 | |
| Atlix | 19 | 20 | 58 | 15 | 22 | 60096 | 21040 | D2 | 51.133 | |
| Atlix | 19 | 12 | 57 | 34 | 23 | 60032 | 21128 | D2 | 51.133 | |
| Atlix | 19 | 22 | 58 | 3 | 24 | 6097 | 21065 | D2 | 51.133 | |
| Atlix | 19 | 24 | 58 | 3 | 25 | 60918 | 21068 | D2 | 51.133 | |
| Atlix | 19 | 25 | 58 | 12 | 23 | 60985 | 21032 | D2 | 51.133 | |
| Atlix | 19 | 10 | 58 | 12 | 22 | 60234 | 21063 | D2 | 51.133 | |
| Atlix | 19 | 11 | 58 | 14 | 22 | 60236 | 21053 | D2 | 51.133 | |
| Atlix | 19 | 24 | 58 | 11 | 24 | 60902 | 21047 | D2 | 51.133 | |
| Atlix | 19 | 15 | 58 | 14 | 22 | 60203 | 21049 | D2 | 51.133 | |
| Atlix | 19 | 15 | 58 | 26 | 23 | 60945 | 20957 | D2 | 51.133 | |
| Atlix Zapata | 19 | 14 | 57 | 55 | 29 | 60678 | 21078 | D2 | 51.133 | |
| Atlix Cardenas | 19 | 12 | 57 | 39 | 25 | 60748 | 21067 | D2 | 51.133 | |
| Atlix Tlaxala | 19 | 17 | 58 | 12 | 23 | 60118 | 21048 | D2 | 51.133 | |
| Atlix Tlaxala | 19 | 17 | 58 | 17 | 22 | 60164 | 21029 | D2 | 51.133 | |
| Atlix Tlaxala | 19 | 16 | 58 | 10 | 24 | 60116 | 21058 | D2 | 51.133 | |
| Atlix Tlaxala | 19 | 14 | 58 | 16 | 22 | 60205 | 21039 | D2 | 51.133 | |
| Atlix Tlaxala | 19 | 20 | 58 | 4 | 26 | 60994 | 21073 | D2 | 51.133 | |
| Atlix Huacruera | 19 | 14 | 58 | 15 | 22 | 60196 | 21043 | D2 | 51.133 | |
| Atlix Acomanula | 19 | 14 | 58 | 15 | 22 | 60196 | 21043 | D2 | 51.133 | |
| Atlix Tlaxala | 19 | 29 | 58 | 15 | 25 | 60946 | 21032 | D2 | 51.133 | |
| Atlix Santa Ana | 19 | 18 | 58 | 20 | 22 | 60175 | 21015 | D2 | 51.133 | |
| Atlix Apolonia | 19 | 14 | 58 | 19 | 22 | 60232 | 21027 | D2 | 51.133 | |
| Atlix Santa Catalina | 19 | 12 | 58 | 13 | 22 | 6021 | 21055 | D2 | 51.133 | |
| Atlix Santa Cruz | 19 | 13 | 58 | 13 | 22 | 60194 | 21033 | D2 | 51.133 | |
| Atlix Santa Isabel | 19 | 16 | 58 | 13 | 22 | 60144 | 21046 | D2 | 51.133 | |
| Aspecto geográfico de Tlaxala | | | | | | | | | | |
| Atlix | 19 | 35 | 57 | 1 | 20 | 60145 | 21279 | D2 | 51.133 | |
| Atlix | 19 | 42 | 58 | 50 | 17 | 62923 | 21304 | D3 | 67.834 | |
| Atlix | 17 | 57 | 54 | 55 | 01 | 60313 | 21936 | E | 100.89 | |
| Atlix | 19 | 50 | 58 | 37 | 02 | 62986 | 21377 | D3 | 67.834 | |
| Atlix | 18 | 30 | 55 | 46 | 01 | 60391 | 21697 | D3 | 67.834 | |
| Atlix | 18 | 43 | 57 | 18 | 16 | 60155 | 21329 | D2 | 51.133 | |
| Atlix Camaron | 19 | 1 | 58 | 37 | 03 | 60449 | 21441 | D3 | 67.834 | |
| Atlix Apatlalan | 19 | 7 | 57 | 6 | 18 | 60647 | 21321 | D2 | 51.133 | |
| Atlix Abu | 19 | 37 | 58 | 44 | 10 | 62941 | 21337 | D3 | 67.834 | |
| Atlix Ahotepec | 19 | 46 | 57 | 15 | 18 | 60102 | 21204 | D2 | 51.133 | |
| Atlix Alvarado | 18 | 46 | 55 | 46 | 01 | 60144 | 21659 | D3 | 67.834 | |
| Atlix Amatlán | 18 | 26 | 55 | 44 | 01 | 60431 | 21714 | D3 | 67.834 | |
| Atlix Naranjo | 21 | 21 | 57 | 41 | 06 | 60767 | 20923 | D2 | 51.133 | |
| Atlix Amatlán de los Reyes | 18 | 51 | 58 | 55 | 02 | 60793 | 21398 | D2 | 51.133 | |

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

| Municipio (Veracruz) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud (msnm) | Área | | | ZONA | Tiempo de Balsa (h:00:00) |
|-----------------------|---------------|---------|----------------|---------|----------------|-----------|--------|------|--------|---------------------------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | Elevación | Área | Área | | |
| Ayotlán | 18 | 36 | 97 | 27 | 0101 | 61089 | 212.19 | D3 | 67.834 | |
| San Andrés | 19 | 22 | 96 | 22 | 0102 | 61961 | 214.19 | D3 | 67.834 | |
| Apatzaco | 19 | 19 | 96 | 43 | 0103 | 61221 | 213.79 | D3 | 67.834 | |
| Agulilla | 18 | 18 | 97 | 18 | 1004 | 61074 | 213.18 | D2 | 31.133 | |
| Atzacaco | 18 | 31 | 97 | 6 | 213 | 61178 | 213.95 | D2 | 31.133 | |
| Atlixco | 18 | 42 | 97 | 5 | 176 | 61039 | 213.81 | D2 | 31.133 | |
| Atlixco | 18 | 33 | 96 | 46 | 0108 | 61657 | 214.22 | D2 | 31.133 | |
| Atlixco | 18 | 41 | 97 | 5 | 128 | 61847 | 213.54 | D2 | 31.133 | |
| Atlixco | 19 | 17 | 97 | 11 | 166 | 61076 | 212.06 | D2 | 31.133 | |
| Atlixco | 19 | 19 | 96 | 31 | 0106 | 61334 | 213.19 | D3 | 67.834 | |
| Atlixco | 19 | 21 | 97 | 9 | 210 | 61451 | 212.79 | D2 | 31.133 | |
| Banderilla | 19 | 15 | 96 | 56 | 132 | 61096 | 212.97 | D3 | 67.834 | |
| Berrio Juárez | 20 | 33 | 96 | 12 | 026 | 62508 | 206.60 | D2 | 31.133 | |
| Boca del Río | 19 | 7 | 96 | 6 | 011 | 61011 | 215.40 | D3 | 67.834 | |
| Cakahuacán | 19 | 7 | 97 | 5 | 172 | 61617 | 213.25 | D2 | 31.133 | |
| Ciudad Mendoza | 18 | 18 | 97 | 11 | 134 | 61004 | 213.45 | D2 | 31.133 | |
| Coahuacán | 18 | 47 | 96 | 34 | 018 | 61641 | 214.81 | D2 | 31.133 | |
| Coahuacán | 18 | 25 | 95 | 7 | 034 | 61032 | 218.45 | D3 | 67.834 | |
| Carrizal de Herrera | 20 | 42 | 97 | 18 | 011 | 6221 | 210.80 | D1 | 67.834 | |
| Cerro Aral | 21 | 11 | 97 | 44 | 014 | 61961 | 209.31 | D2 | 31.133 | |
| Catalpa | 21 | 20 | 97 | 33 | 022 | 61888 | 208.82 | D2 | 31.133 | |
| Cruz Grande | 19 | 19 | 96 | 56 | 146 | 61011 | 212.89 | D1 | 67.834 | |
| Progreso de Zaragoza | 20 | 16 | 97 | 43 | 018 | 62807 | 210.39 | D1 | 67.834 | |
| Cruz Grande | 19 | 27 | 96 | 58 | 12 | 61245 | 213.07 | D3 | 67.834 | |
| Cruz Grande | 18 | 9 | 94 | 20 | 011 | 62794 | 220.21 | D1 | 67.834 | |
| Cruz Grande | 20 | 29 | 97 | 28 | 012 | 62517 | 210.69 | D1 | 67.834 | |
| Cruz Grande | 18 | 47 | 96 | 35 | 062 | 61857 | 214.07 | D2 | 31.133 | |
| Cruz Grande | 19 | 55 | 96 | 41 | 02 | 62644 | 213.02 | D3 | 67.834 | |
| Cruz Grande | 19 | 10 | 96 | 51 | 104 | 61869 | 213.83 | D1 | 67.834 | |
| Cruz Grande | 18 | 53 | 96 | 56 | 086 | 61772 | 213.89 | D2 | 31.133 | |
| Cruz Grande | 18 | 22 | 95 | 48 | 011 | 61537 | 217.09 | D3 | 67.834 | |
| Coahuacán de Carrizal | 19 | 20 | 96 | 59 | 124 | 61568 | 213.18 | D1 | 67.834 | |
| Coahuacán de Bravo | 19 | 4 | 97 | 3 | 132 | 61666 | 213.39 | D2 | 31.133 | |
| Coahuacán | 18 | 0 | 94 | 38 | 005 | 61009 | 220.06 | D3 | 67.834 | |
| Coahuacán | 18 | 30 | 96 | 24 | 004 | 61488 | 215.14 | D2 | 31.133 | |
| Coahuacán | 20 | 11 | 97 | 35 | 028 | 62808 | 210.79 | D3 | 67.834 | |
| Coahuacán | 20 | 15 | 97 | 39 | 016 | 6285 | 210.56 | D1 | 67.834 | |
| Coahuacán | 18 | 16 | 96 | 52 | 051 | 61843 | 214.20 | D2 | 31.133 | |
| Coahuacán | 18 | 19 | 96 | 43 | 038 | 61702 | 214.47 | D2 | 31.133 | |
| Coahuacán | 18 | 18 | 95 | 50 | 011 | 6162 | 217.12 | D1 | 67.834 | |
| Coahuacán | 21 | 13 | 96 | 24 | 014 | 6227 | 207.79 | D2 | 31.133 | |

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

| Municipio (Veracruz) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud (msnm) | Área | | | ZONA | Tiempo de Balsa (h:00:00) |
|----------------------|---------------|---------|----------------|---------|----------------|-----------|--------|------|--------|---------------------------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | Elevación | Área | Área | | |
| Chiconamel | 21 | 14 | 96 | 27 | 0114 | 62278 | 207.66 | D2 | 31.133 | |
| Chiconamil | 19 | 43 | 96 | 19 | 216 | 62865 | 213.01 | D3 | 67.834 | |
| Chiconamil | 20 | 58 | 96 | 30 | 0152 | 62406 | 208.59 | D2 | 31.133 | |
| Chiconamil | 18 | 1 | 94 | 41 | 0104 | 61899 | 219.91 | D3 | 67.834 | |
| Chiconamil | 21 | 22 | 97 | 44 | 011 | 61776 | 209.11 | D2 | 31.133 | |
| Chiconamil | 17 | 55 | 94 | 6 | 0101 | 6276 | 223.25 | E | 105.89 | |
| Chiconamil | 19 | 1 | 97 | 2 | 136 | 63704 | 214.49 | D2 | 31.133 | |
| Chiconamil | 21 | 16 | 97 | 55 | 026 | 61939 | 208.78 | D2 | 31.133 | |
| Chiconamil | 20 | 12 | 97 | 56 | 042 | 62873 | 210.73 | D3 | 67.834 | |
| Chiconamil | 19 | 29 | 96 | 48 | 0194 | 61133 | 213.19 | D3 | 67.834 | |
| Chiconamil | 20 | 15 | 97 | 24 | 011 | 62711 | 211.11 | D3 | 67.834 | |
| Chiconamil | 20 | 12 | 97 | 42 | 074 | 62928 | 210.51 | D3 | 67.834 | |
| Chiconamil | 18 | 54 | 97 | 0 | 1 | 61796 | 213.72 | D2 | 31.133 | |
| Chiconamil | 20 | 27 | 97 | 5 | 012 | 62336 | 211.57 | D3 | 67.834 | |
| Chiconamil | 17 | 46 | 94 | 39 | 0101 | 61287 | 220.38 | E | 105.89 | |
| Chiconamil | 19 | 9 | 96 | 58 | 13 | 61535 | 213.46 | D3 | 67.834 | |
| Chiconamil | 20 | 32 | 98 | 29 | 214 | 61009 | 208.35 | D2 | 31.133 | |
| Chiconamil | 18 | 9 | 95 | 9 | 012 | 61295 | 218.78 | D3 | 67.834 | |
| Chiconamil | 18 | 19 | 97 | 10 | 128 | 61977 | 213.46 | D2 | 31.133 | |
| Chiconamil | 18 | 44 | 95 | 59 | 011 | 61316 | 216.18 | D3 | 67.834 | |
| Chiconamil | 20 | 47 | 98 | 27 | 116 | 62738 | 208.15 | D2 | 31.133 | |
| Chiconamil | 18 | 2 | 95 | 32 | 016 | 61661 | 218.15 | D3 | 67.834 | |
| Chiconamil | 21 | 14 | 98 | 0 | 02 | 6205 | 208.67 | D2 | 31.133 | |
| Chiconamil | 19 | 21 | 97 | 7 | 18 | 61431 | 212.87 | D2 | 31.133 | |
| Chiconamil | 19 | 1 | 96 | 39 | 135 | 61641 | 213.56 | D3 | 67.834 | |
| Chiconamil | 18 | 54 | 97 | 9 | 142 | 61887 | 213.39 | D2 | 31.133 | |
| Chiconamil | 18 | 1 | 94 | 23 | 013 | 62876 | 220.54 | D3 | 67.834 | |
| Chiconamil | 20 | 41 | 98 | 1 | 026 | 62614 | 209.24 | D2 | 31.133 | |
| Chiconamil | 18 | 27 | 95 | 50 | 011 | 61482 | 216.90 | D3 | 67.834 | |
| Chiconamil | 18 | 51 | 97 | 4 | 116 | 61885 | 213.64 | D2 | 31.133 | |
| Chiconamil | 19 | 48 | 97 | 18 | 184 | 61098 | 211.69 | D2 | 31.133 | |
| Chiconamil | 19 | 32 | 96 | 55 | 186 | 61314 | 213.07 | D3 | 67.834 | |
| Chiconamil | 19 | 20 | 96 | 46 | 034 | 61237 | 213.66 | D3 | 67.834 | |
| Chiconamil | 17 | 58 | 94 | 43 | 005 | 61357 | 219.94 | E | 105.89 | |
| Chiconamil | 19 | 3 | 96 | 14 | 011 | 61378 | 215.20 | D3 | 67.834 | |
| Chiconamil | 17 | 26 | 95 | 1 | 032 | 61812 | 220.15 | D3 | 67.834 | |
| Chiconamil | 19 | 25 | 97 | 1 | 132 | 61307 | 213.00 | D2 | 31.133 | |
| Chiconamil | 19 | 37 | 96 | 57 | 138 | 61073 | 212.89 | D3 | 67.834 | |
| Chiconamil | 18 | 0 | 95 | 21 | 013 | 61603 | 218.48 | D3 | 67.834 | |
| Chiconamil | 19 | 50 | 96 | 42 | 038 | 62715 | 213.16 | D3 | 67.834 | |
| Chiconamil | 19 | 44 | 96 | 51 | 198 | 62901 | 212.96 | D1 | 67.834 | |

DATOS PARA CADA MUNICIPIO DEL TERRITORIO NACIONAL

ANEXO C

| Municipio (Veracruz) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud | Área | | Tierra de Bienes | |
|----------------------------|---------------|---------|----------------|---------|---------|-----------------|-----------|------------------|--------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | km ² | Hectáreas | km ² | % |
| Arriola de Tapada | 19 | 38 | 45 | 31 | 0101 | 22 175 | 215 91 | 133 | 67 834 |
| Magdalena | 18 | 43 | 47 | 7 | 15 | 43 971 | 213 81 | 132 | 51 133 |
| Matlacha | 18 | 49 | 47 | 17 | 172 | 49 448 | 213 20 | 132 | 51 133 |
| Manlio Fabio Altamirano | 19 | 6 | 46 | 20 | 014 | 63 194 | 214 92 | 131 | 67 834 |
| Mariano Escobedo | 18 | 33 | 47 | 8 | 132 | 63 361 | 213 40 | 132 | 51 133 |
| Martínez de la Torre | 20 | 1 | 47 | 4 | 018 | 62 702 | 212 67 | 131 | 67 834 |
| Mexatlan | 20 | 13 | 47 | 41 | 036 | 62 402 | 210 32 | 131 | 67 834 |
| Mixtapan | 18 | 13 | 44 | 34 | 036 | 63 016 | 214 33 | 131 | 67 834 |
| Medellín de Bravo | 19 | 3 | 46 | 4 | 011 | 63 126 | 213 38 | 131 | 67 834 |
| Mehuacán | 19 | 42 | 46 | 32 | 18 | 62 443 | 212 97 | 131 | 67 834 |
| Mina, Los | 19 | 42 | 47 | 4 | 136 | 63 109 | 212 34 | 132 | 51 133 |
| Minautlán | 17 | 59 | 44 | 33 | 012 | 63 024 | 220 25 | E | 103 89 |
| Miranda | 19 | 56 | 46 | 31 | 03 | 62 707 | 212 71 | 131 | 67 834 |
| Mixtla de Altamirano | 18 | 36 | 47 | 0 | 165 | 64 084 | 214 13 | 132 | 51 133 |
| Molacatlan | 17 | 59 | 44 | 21 | 018 | 62 862 | 220 66 | E | 103 89 |
| Náhuatl de Victoria | 19 | 39 | 46 | 32 | 134 | 62 941 | 213 01 | 131 | 67 834 |
| Naranjal | 18 | 49 | 46 | 38 | 074 | 63 836 | 213 91 | 132 | 51 133 |
| Nautla | 20 | 12 | 46 | 46 | 011 | 62 398 | 212 56 | D3 | 67 834 |
| Nogales | 18 | 49 | 47 | 10 | 128 | 63 977 | 213 46 | D2 | 51 133 |
| Olla | 17 | 56 | 44 | 34 | 018 | 63 316 | 219 62 | E | 103 89 |
| Ometépec | 18 | 45 | 46 | 47 | 04 | 63 807 | 214 41 | D2 | 51 133 |
| Oncala | 18 | 51 | 47 | 6 | 123 | 63 945 | 213 57 | D2 | 51 133 |
| Otlatlán | 18 | 11 | 46 | 2 | 011 | 63 36 | 216 86 | D2 | 51 133 |
| Orizaba | 18 | 0 | 41 | 40 | 045 | 63 092 | 219 99 | D1 | 67 834 |
| Oxauhuatepec de Mascareñas | 21 | 40 | 47 | 31 | 013 | 61 333 | 208 33 | D2 | 51 133 |
| Pajapan | 18 | 16 | 44 | 41 | 018 | 62 867 | 219 36 | D3 | 67 834 |
| Pánuco | 22 | 3 | 48 | 11 | 011 | 61 31 | 207 41 | D2 | 51 133 |
| Papantla de Olarte | 20 | 27 | 47 | 19 | 018 | 62 467 | 211 06 | D3 | 67 834 |
| Paso del Macho | 18 | 58 | 46 | 43 | 048 | 63 559 | 214 26 | D2 | 51 133 |
| Paso de Ovejas | 19 | 17 | 46 | 26 | 04 | 63 082 | 214 45 | D1 | 67 834 |
| Perla, La | 18 | 56 | 47 | 8 | 162 | 63 845 | 213 38 | D2 | 51 133 |
| Perote | 19 | 34 | 47 | 15 | 24 | 63 298 | 212 29 | D2 | 51 133 |
| Playón Sánchez | 21 | 16 | 48 | 22 | 046 | 62 202 | 207 82 | D2 | 51 133 |
| Playa Vicente | 17 | 50 | 45 | 49 | 045 | 63 038 | 217 84 | D3 | 67 834 |
| Pozos Ricos de Hidalgo | 20 | 32 | 47 | 27 | 045 | 62 458 | 210 67 | D1 | 67 834 |
| Villas de Ramírez, Los | 19 | 38 | 47 | 6 | 242 | 63 145 | 212 54 | D2 | 51 133 |
| Cd. Cuauhtémoc | 22 | 11 | 47 | 30 | 011 | 61 | 208 03 | D2 | 51 133 |
| Puerto Nacional | 19 | 20 | 46 | 29 | 01 | 63 063 | 214 28 | D1 | 67 834 |
| Rafael Delgado | 18 | 49 | 47 | 4 | 136 | 63 917 | 213 49 | D2 | 51 133 |
| Rafael Lucio | 19 | 15 | 46 | 39 | 184 | 63 123 | 212 86 | D1 | 67 834 |
| Rivera, Los | 18 | 40 | 47 | 2 | 184 | 64 041 | 213 96 | D2 | 51 133 |

**TESIS CON
FALTA DE ORIGEN**

| Municipio (Veracruz) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud | Área | | Tierra de Bienes | |
|----------------------|---------------|---------|----------------|---------|---------|-----------------|-----------|------------------|--------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | km ² | Hectáreas | km ² | % |
| San Blas | 18 | 30 | 47 | 4 | 13 | 63 951 | 213 48 | D2 | 51 133 |
| Salazaranca | 18 | 35 | 45 | 32 | 011 | 63 16 | 217 34 | D1 | 67 834 |
| San Andrés Tuxtapan | 18 | 47 | 47 | 6 | 12 | 63 949 | 213 66 | D2 | 51 133 |
| San Andrés Tuxtla | 18 | 27 | 45 | 13 | 03 | 63 409 | 218 20 | D3 | 67 834 |
| San Juan Evangelista | 17 | 33 | 45 | 8 | 010 | 63 324 | 219 21 | D1 | 67 834 |
| Sancti Spiritus | 18 | 38 | 45 | 18 | 02 | 63 111 | 218 80 | D1 | 67 834 |
| Santa de Alemán | 17 | 33 | 44 | 37 | 018 | 63 345 | 219 34 | E | 103 89 |
| Santiago | 17 | 38 | 44 | 34 | 018 | 63 274 | 219 61 | E | 103 89 |
| Saxhuapa | 19 | 12 | 46 | 36 | 132 | 63 467 | 213 47 | D1 | 67 834 |
| Soledad Atrompa | 18 | 45 | 47 | 9 | 226 | 64 032 | 213 39 | D2 | 51 133 |
| Soledad de Doblado | 19 | 3 | 46 | 23 | 01 | 63 291 | 214 80 | D1 | 67 834 |
| Sorespan | 18 | 14 | 44 | 32 | 042 | 63 025 | 219 24 | D1 | 67 834 |
| Tamalin | 21 | 20 | 47 | 49 | 034 | 61 833 | 208 96 | D2 | 51 133 |
| Tamahuá | 21 | 17 | 47 | 27 | 011 | 61 71 | 209 81 | D2 | 51 133 |
| Tampoco Alto | 22 | 7 | 47 | 48 | 012 | 61 051 | 208 17 | D2 | 51 133 |
| Tampoco | 21 | 17 | 47 | 47 | 022 | 61 886 | 209 09 | D2 | 51 133 |
| Tantima | 21 | 20 | 47 | 50 | 02 | 61 862 | 208 92 | D2 | 51 133 |
| Tantoyuca | 21 | 21 | 48 | 14 | 014 | 62 05 | 208 02 | D2 | 51 133 |
| Tatlalá | 19 | 42 | 47 | 7 | 246 | 63 09 | 212 42 | D2 | 51 133 |
| Castillo de Tréjo | 20 | 45 | 47 | 38 | 018 | 62 342 | 210 01 | D3 | 67 834 |
| Tecolutla | 20 | 29 | 47 | 0 | 011 | 62 226 | 211 71 | D1 | 67 834 |
| Tehuapango | 18 | 31 | 47 | 3 | 236 | 64 195 | 214 13 | D2 | 51 133 |
| Alamo | 20 | 33 | 47 | 41 | 014 | 62 202 | 209 71 | D3 | 67 834 |
| Tempual de Sánchez | 21 | 31 | 48 | 23 | 015 | 61 955 | 207 52 | D2 | 51 133 |
| Temuapa | 19 | 15 | 46 | 31 | 106 | 63 388 | 213 51 | D3 | 67 834 |
| Terminatlan | 19 | 48 | 46 | 35 | 09 | 62 875 | 212 73 | D3 | 67 834 |
| Tetecela | 19 | 23 | 46 | 38 | 136 | 63 349 | 213 16 | D3 | 67 834 |
| Tetatlaco | 19 | 4 | 46 | 31 | 078 | 63 545 | 213 83 | D3 | 67 834 |
| Tepetitlan | 19 | 40 | 46 | 48 | 138 | 62 936 | 213 16 | D3 | 67 834 |
| Tepetztlán | 21 | 10 | 47 | 31 | 026 | 62 039 | 209 07 | D2 | 51 133 |
| Tetipala | 18 | 44 | 47 | 4 | 166 | 63 997 | 213 80 | D2 | 51 133 |
| Villa Arcueta | 18 | 4 | 45 | 42 | 011 | 63 746 | 217 74 | D3 | 67 834 |
| Tehuacapan | 20 | 33 | 48 | 22 | 184 | 62 898 | 208 56 | D2 | 51 133 |
| Tehuacán | 18 | 37 | 47 | 2 | 194 | 64 089 | 214 03 | D2 | 51 133 |
| Tehuacán | 17 | 54 | 44 | 49 | 014 | 63 287 | 219 84 | E | 103 89 |
| Tehuacanpa | 18 | 36 | 46 | 41 | 022 | 63 888 | 214 84 | D2 | 51 133 |
| Tierra Blanca | 18 | 27 | 46 | 21 | 016 | 63 818 | 215 78 | D2 | 51 133 |
| Tlaxiaco | 20 | 43 | 47 | 32 | 01 | 62 321 | 210 27 | D3 | 67 834 |
| Tlaxiaco | 18 | 14 | 45 | 37 | 011 | 63 759 | 216 96 | D3 | 67 834 |
| Tlaxiaco | 19 | 40 | 47 | 0 | 174 | 63 054 | 212 72 | D1 | 67 834 |
| Tlaxiaco | 18 | 37 | 45 | 40 | 011 | 61 218 | 212 02 | D3 | 67 834 |

| Municipio (Veracruz) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud | Área | | | Zona de | |
|-----------------------------------|---------------|---------|----------------|---------|----------|-----------|------------|------|---------|---------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | (metros) | Hectáreas | Kilómetros | Área | ZONA | Altitud |
| Acatepec de Mota | 19 | 12 | 96 | 4 | 109 | 61,606 | 211,669 | 135 | | 67,834 |
| Acapulco | 20 | 37 | 96 | 12 | 082 | 62,778 | 226,943 | 132 | | 51,133 |
| Acayucan | 18 | 48 | 96 | 4 | 003 | 63,508 | 215,901 | 132 | | 51,133 |
| Amatlán | 19 | 34 | 96 | 38 | 184 | 63,132 | 212,921 | 135 | | 67,834 |
| Amatlan | 20 | 36 | 97 | 17 | 043 | 62,887 | 211,866 | 132 | | 51,133 |
| Amatlán | 18 | 36 | 97 | 7 | 234 | 64,566 | 215,871 | 132 | | 51,133 |
| Amatlan | 18 | 48 | 97 | 6 | 116 | 63,974 | 213,611 | 132 | | 51,133 |
| Amatlan | 19 | 27 | 97 | 1 | 156 | 63,678 | 213,511 | 132 | | 51,133 |
| Amatlan | 19 | 41 | 96 | 35 | 182 | 62,989 | 212,888 | 135 | | 67,834 |
| Amatlan | 19 | 17 | 96 | 26 | 144 | 63,471 | 213,571 | 135 | | 67,834 |
| Atzacan de Rodríguez Cano | 20 | 37 | 97 | 21 | 011 | 62,016 | 210,301 | 135 | | 67,834 |
| Atzacan | 18 | 14 | 95 | 54 | 001 | 63,726 | 217,071 | 135 | | 67,834 |
| Atzacan | 19 | 24 | 96 | 22 | 002 | 62,929 | 214,441 | 135 | | 67,834 |
| Atzacan de Alatorre | 20 | 2 | 96 | 39 | 001 | 62,492 | 213,021 | 135 | | 67,834 |
| Atzacan | 19 | 12 | 96 | 8 | 001 | 62,974 | 215,211 | 135 | | 67,834 |
| Atzacan | 19 | 39 | 97 | 14 | 24 | 63,207 | 212,221 | 132 | | 51,133 |
| Atzacan | 18 | 36 | 97 | 9 | 21 | 64,128 | 213,721 | 132 | | 51,133 |
| Atzacan | 18 | 50 | 96 | 48 | 032 | 63,738 | 214,261 | 132 | | 51,133 |
| Atzacan | 19 | 32 | 96 | 47 | 042 | 62,732 | 212,941 | 135 | | 67,834 |
| Atzacan | 20 | 26 | 98 | 21 | 167 | 63,042 | 216,771 | 132 | | 51,133 |
| Atzacan | 17 | 37 | 94 | 39 | 002 | 63,125 | 220,101 | E | 103,89 | |
| Atzacan Manuel González | 19 | 7 | 96 | 52 | 094 | 63,507 | 213,731 | 135 | | 67,834 |
| Atzacan | 18 | 40 | 97 | 0 | 12 | 64,021 | 214,041 | 132 | | 51,133 |
| Atzacan de López y Fuentes | 20 | 46 | 98 | 20 | 05 | 62,695 | 218,111 | 132 | | 51,133 |
| Atzacan de Hidalgo | 20 | 8 | 97 | 15 | 028 | 62,929 | 210,851 | 135 | | 67,834 |
| Atzacan | 18 | 9 | 94 | 8 | 002 | 62,58 | 220,831 | 135 | | 67,834 |
| Atzacan El | 21 | 46 | 98 | 27 | 002 | 61,731 | 207,111 | 132 | | 51,133 |
| Atzacan de Luzán Cárdenas del Río | 18 | 4 | 94 | 25 | 001 | 62,856 | 220,401 | 135 | | 67,834 |
| Atzacan | 18 | 14 | 96 | 8 | 004 | 63,88 | 216,571 | 132 | | 51,133 |
| Municipio de Veracruz | | | | | | | | | | |
| Atzacan | 20 | 39 | 89 | 41 | 002 | 57,18 | 225,14 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 20 | 49 | 89 | 27 | 001 | 56,868 | 225,29 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 20 | 16 | 89 | 21 | 001 | 57,231 | 226,18 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 21 | 7 | 89 | 24 | 001 | 56,588 | 224,98 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 21 | 0 | 89 | 11 | 001 | 56,518 | 225,47 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 21 | 12 | 88 | 48 | 001 | 56,065 | 225,80 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 20 | 39 | 89 | 13 | 002 | 56,557 | 225,41 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 21 | 1 | 88 | 10 | 002 | 55,721 | 227,01 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 21 | 9 | 89 | 6 | 001 | 56,334 | 225,40 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 20 | 28 | 89 | 5 | 002 | 56,868 | 226,11 | G | | 100,99 |

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

| Municipio (Veracruz) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud | Área | | | Zona de | |
|----------------------|---------------|---------|----------------|---------|----------|-----------|------------|------|---------|---------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | (metros) | Hectáreas | Kilómetros | Área | ZONA | Altitud |
| Atzacan | 20 | 52 | 90 | 24 | 0 | 57,541 | 223,70 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 20 | 58 | 88 | 36 | 003 | 56,996 | 226,41 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 21 | 4 | 89 | 31 | 001 | 56,717 | 224,86 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 20 | 38 | 88 | 18 | 003 | 56,123 | 227,40 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 20 | 44 | 89 | 19 | 001 | 56,534 | 225,61 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 20 | 10 | 89 | 1 | 003 | 57,05 | 226,84 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 20 | 34 | 88 | 33 | 003 | 56,345 | 227,06 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 20 | 27 | 89 | 27 | 003 | 57,163 | 225,78 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 20 | 39 | 87 | 56 | 005 | 55,821 | 227,82 | G | | 100,99 |
| Atzacan Parícuta | 21 | 8 | 89 | 31 | 001 | 56,662 | 224,78 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 20 | 38 | 88 | 13 | 003 | 56,057 | 227,42 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 20 | 20 | 88 | 29 | 001 | 56,5 | 227,42 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 20 | 45 | 89 | 50 | 001 | 57,213 | 224,77 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 20 | 26 | 89 | 18 | 002 | 57,106 | 226,04 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 20 | 23 | 89 | 26 | 003 | 57,229 | 225,84 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 21 | 13 | 89 | 18 | 001 | 56,432 | 225,01 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 21 | 15 | 89 | 2 | 001 | 56,203 | 225,38 | G | | 100,99 |
| Atzacan de Bravo | 21 | 24 | 88 | 53 | 0 | 55,949 | 225,42 | G | | 100,99 |
| Atzacan González | 21 | 17 | 88 | 56 | 001 | 56,1 | 223,49 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 20 | 50 | 88 | 32 | 003 | 56,15 | 226,68 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 21 | 8 | 88 | 53 | 001 | 56,182 | 225,76 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 21 | 1 | 88 | 18 | 002 | 55,824 | 226,80 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 20 | 29 | 90 | 5 | 002 | 57,619 | 224,73 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 20 | 49 | 89 | 15 | 001 | 56,716 | 225,61 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 20 | 52 | 89 | 12 | 001 | 56,637 | 225,62 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 20 | 44 | 89 | 17 | 001 | 56,808 | 225,66 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 20 | 44 | 89 | 10 | 001 | 56,718 | 225,85 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 21 | 1 | 89 | 52 | 001 | 57,02 | 224,37 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 21 | 9 | 89 | 29 | 001 | 56,624 | 224,81 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 20 | 56 | 89 | 1 | 002 | 56,444 | 225,82 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 20 | 56 | 89 | 34 | 001 | 56,863 | 224,96 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 20 | 48 | 89 | 2 | 002 | 56,363 | 225,96 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 20 | 37 | 88 | 25 | 003 | 56,228 | 227,15 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 20 | 55 | 89 | 57 | 001 | 57,165 | 224,37 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 20 | 39 | 89 | 54 | 002 | 57,345 | 224,80 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 20 | 29 | 89 | 22 | 002 | 57,072 | 225,12 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 20 | 23 | 89 | 24 | 003 | 57,177 | 225,95 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 20 | 35 | 90 | 0 | 002 | 57,474 | 224,73 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 20 | 28 | 89 | 11 | 002 | 56,949 | 226,12 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 20 | 58 | 89 | 17 | 001 | 56,873 | 224,83 | G | | 100,99 |
| Atzacan | 21 | 8 | 89 | 27 | 001 | 56,649 | 224,92 | G | | 100,99 |

| Municipio (Zacatecas) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud (metros) | Área (km ²) | | ZONA | Tipo de Suelo |
|----------------------------|---------------|---------|----------------|---------|------------------|-------------------------|--------|------|---------------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | Elevación | Área | | |
| Mutul de Camillo Puerto | 21 | 0 | 88 | 17 | 010 | 56 313 | 225 18 | G | 100 99 |
| Muñoz | 20 | 29 | 88 | 43 | 010 | 57 34 | 225 31 | G | 100 99 |
| Musapip | 21 | 0 | 88 | 20 | 010 | 56 592 | 225 17 | G | 100 99 |
| Nyehon | 20 | 0 | 88 | 51 | 010 | 57 588 | 225 01 | G | 100 99 |
| Noholotitlan | 20 | 18 | 88 | 25 | 010 | 57 257 | 226 03 | G | 100 99 |
| Parabola | 21 | 08 | 88 | 16 | 010 | 55 576 | 226 18 | G | 100 99 |
| Peto | 20 | 0 | 88 | 55 | 010 | 57 011 | 227 06 | G | 100 99 |
| Progreso | 21 | 10 | 88 | 43 | 010 | 56 652 | 224 34 | G | 100 99 |
| Quintana Fierro | 20 | 52 | 88 | 58 | 010 | 56 291 | 226 49 | G | 100 99 |
| Rio Lagartos | 21 | 5 | 88 | 8 | 010 | 55 25 | 226 27 | G | 100 99 |
| Sahuatlan | 20 | 30 | 88 | 35 | 010 | 57 225 | 225 50 | G | 100 99 |
| Sahuatitlan | 20 | 53 | 88 | 53 | 010 | 57 112 | 224 52 | G | 100 99 |
| Sahuatitlan | 20 | 16 | 88 | 13 | 010 | 56 73 | 225 72 | G | 100 99 |
| San Felipe | 21 | 10 | 88 | 14 | 0 | 55 34 | 226 19 | G | 100 99 |
| Santa Elena | 20 | 18 | 88 | 38 | 010 | 57 41 | 225 67 | G | 100 99 |
| Soye | 20 | 50 | 88 | 22 | 010 | 56 791 | 225 40 | G | 100 99 |
| Suarez | 21 | 14 | 88 | 11 | 010 | 56 33 | 225 17 | G | 100 99 |
| Tehuacan | 20 | 36 | 88 | 0 | 010 | 56 666 | 226 28 | G | 100 99 |
| Suiza | 21 | 9 | 88 | 19 | 010 | 55 713 | 226 60 | G | 100 99 |
| Sudzal | 20 | 52 | 88 | 59 | 010 | 56 671 | 225 95 | G | 100 99 |
| Suma | 21 | 5 | 88 | 9 | 010 | 56 425 | 225 41 | G | 100 99 |
| Tahdziu | 20 | 12 | 88 | 57 | 010 | 56 972 | 226 89 | G | 100 99 |
| Tahmek | 20 | 52 | 88 | 15 | 010 | 56 676 | 225 54 | G | 100 99 |
| Teco | 20 | 21 | 88 | 17 | 010 | 57 074 | 226 11 | G | 100 99 |
| Tecoh | 20 | 41 | 88 | 28 | 010 | 56 918 | 225 38 | G | 100 99 |
| Tecol de Venegas | 21 | 1 | 88 | 57 | 010 | 56 126 | 225 81 | G | 100 99 |
| Tehuacan | 21 | 1 | 88 | 6 | 010 | 56 411 | 225 58 | G | 100 99 |
| Tehuacan de Alvaro Obregón | 20 | 12 | 88 | 17 | 010 | 57 212 | 226 38 | G | 100 99 |
| Tehuacan | 20 | 12 | 88 | 20 | 010 | 57 016 | 225 85 | G | 100 99 |
| Tehuacan | 20 | 36 | 88 | 16 | 010 | 56 123 | 227 39 | G | 100 99 |
| Tehuacan | 21 | 12 | 88 | 16 | 0 | 56 42 | 225 08 | G | 100 99 |
| Tehuacan Puerto | 21 | 20 | 88 | 16 | 0 | 56 312 | 224 91 | G | 100 99 |
| Tehuacan | 21 | 9 | 88 | 56 | 010 | 56 207 | 225 66 | G | 100 99 |
| Tehuacan | 20 | 48 | 88 | 12 | 010 | 55 915 | 227 21 | G | 100 99 |
| Tehuacan | 21 | 3 | 88 | 2 | 010 | 56 363 | 225 64 | G | 100 99 |
| Tehuacan | 20 | 58 | 88 | 56 | 010 | 57 111 | 224 33 | G | 100 99 |
| Tehuacan | 21 | 3 | 88 | 4 | 010 | 56 389 | 225 59 | G | 100 99 |
| Tehuacan | 20 | 21 | 88 | 32 | 010 | 57 267 | 225 72 | G | 100 99 |
| Tehuacan | 20 | 49 | 88 | 31 | 010 | 56 919 | 225 19 | G | 100 99 |
| Tehuacan | 20 | 46 | 88 | 21 | 010 | 56 098 | 226 97 | G | 100 99 |
| Tehuacan | 20 | 32 | 88 | 16 | 010 | 56 174 | 227 18 | G | 100 99 |

| Municipio (Zacatecas) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud (metros) | Área (km ²) | | ZONA | Tipo de Suelo |
|---|---------------|---------|----------------|---------|------------------|-------------------------|--------|------|---------------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | | Elevación | Área | | |
| Tehuacan | 21 | 0 | 88 | 23 | 010 | 56 627 | 225 16 | G | 100 99 |
| Tehuacan | 20 | 11 | 88 | 8 | 010 | 57 063 | 226 62 | G | 100 99 |
| Tehuacan | 20 | 56 | 88 | 26 | 010 | 56 723 | 225 10 | G | 100 99 |
| Tehuacan | 21 | 9 | 88 | 9 | 010 | 55 613 | 226 85 | G | 100 99 |
| Tehuacan | 20 | 54 | 88 | 45 | 010 | 56 265 | 226 27 | G | 100 99 |
| Tehuacan | 20 | 4 | 88 | 3 | 010 | 57 155 | 226 92 | G | 100 99 |
| Tehuacan | 20 | 43 | 88 | 19 | 010 | 56 071 | 227 18 | G | 100 99 |
| Tehuacan | 20 | 2 | 88 | 45 | 010 | 56 919 | 224 54 | G | 100 99 |
| Tehuacan | 20 | 53 | 88 | 45 | 010 | 57 012 | 224 73 | G | 100 99 |
| Tehuacan | 20 | 41 | 88 | 12 | 010 | 56 106 | 227 38 | G | 100 99 |
| Tehuacan | 20 | 50 | 88 | 11 | 010 | 56 651 | 225 69 | G | 100 99 |
| Tehuacan | 20 | 33 | 88 | 50 | 010 | 56 666 | 226 60 | G | 100 99 |
| Tehuacan | 21 | 4 | 88 | 25 | 010 | 56 641 | 225 02 | G | 100 99 |
| Tehuacan | 21 | 11 | 88 | 7 | 010 | 56 279 | 225 27 | G | 100 99 |
| Apuntes geográficos de Zacatecas | | | | | | | | | |
| Apuntes | 21 | 28 | 103 | 5 | 1 28 | 63 903 | 196 32 | D2 | 51 133 |
| Apuntes | 21 | 23 | 102 | 41 | 1 28 | 63 871 | 197 40 | D2 | 51 133 |
| Apuntes | 21 | 48 | 103 | 28 | 2 12 | 63 644 | 195 13 | D2 | 51 133 |
| Apuntes | 21 | 30 | 103 | 31 | 2 16 | 64 002 | 195 11 | D2 | 51 133 |
| Apuntes | 22 | 57 | 102 | 42 | 2 16 | 62 142 | 196 29 | D2 | 51 133 |
| Apuntes | 23 | 36 | 102 | 44 | 2 02 | 61 431 | 195 81 | D2 | 51 133 |
| Apuntes | 24 | 37 | 101 | 25 | 2 08 | 59 905 | 198 17 | D1 | 39 928 |
| Apuntes | 22 | 27 | 102 | 21 | 2 03 | 62 586 | 197 46 | D2 | 51 133 |
| Apuntes | 23 | 29 | 103 | 53 | 2 26 | 61 865 | 193 15 | D2 | 51 133 |
| Apuntes | 23 | 10 | 102 | 52 | 2 19 | 61 95 | 195 76 | D2 | 51 133 |
| Apuntes | 21 | 12 | 103 | 28 | 1 72 | 64 314 | 195 52 | D2 | 51 133 |
| Apuntes | 22 | 29 | 102 | 27 | 2 15 | 62 581 | 197 20 | D2 | 51 133 |
| Apuntes | 23 | 0 | 102 | 44 | 2 15 | 62 096 | 196 18 | D2 | 51 133 |
| Apuntes | 24 | 0 | 103 | 1 | 1 91 | 61 063 | 194 92 | D1 | 39 928 |
| Apuntes | 21 | 56 | 103 | 5 | 2 36 | 63 365 | 196 01 | D2 | 51 133 |
| Apuntes | 22 | 40 | 102 | 7 | 2 11 | 62 272 | 197 87 | D2 | 51 133 |
| Apuntes | 22 | 45 | 102 | 31 | 2 28 | 62 308 | 196 86 | D2 | 51 133 |
| Apuntes | 21 | 46 | 102 | 58 | 1 15 | 63 535 | 196 41 | D2 | 51 133 |
| Apuntes | 21 | 38 | 102 | 58 | 1 36 | 63 683 | 196 50 | D2 | 51 133 |
| Apuntes | 22 | 39 | 102 | 59 | 2 | 62 558 | 195 79 | D2 | 51 133 |
| Apuntes | 21 | 15 | 103 | 48 | 1 9 | 62 107 | 194 47 | D2 | 51 133 |
| Apuntes | 24 | 17 | 103 | 24 | 1 99 | 63 849 | 193 87 | D1 | 39 928 |
| Apuntes | 21 | 25 | 103 | 7 | 1 24 | 63 969 | 196 27 | D2 | 51 133 |
| Apuntes | 22 | 16 | 101 | 59 | 2 03 | 62 667 | 196 48 | D2 | 51 133 |
| Apuntes | 22 | 36 | 102 | 15 | 1 91 | 62 571 | 197 72 | D2 | 51 133 |
| Apuntes | 24 | 36 | 101 | 33 | 2 26 | 59 93 | 197 86 | D1 | 39 928 |

TESTES CON FALLAS DE ORIGEN

| Municipios (Zonas) | Latitud Norte | | Longitud Oeste | | Altitud | | Área | ZONA | Tasa de lluvia [mm/año] |
|--------------------|---------------|---------|----------------|---------|---------|-----------|-------|------|----------------------------|
| | Grados | Minutos | Grados | Minutos | metros | Elevación | | | |
| Atlix | 24 | 50 | 101 | 30 | 2105 | 19723 | 19752 | D1 | 30928 |
| Atlix | 24 | 13 | 102 | 27 | 212 | -6126 | 19576 | D2 | 31133 |
| Atlix | 24 | 18 | 101 | 27 | 196 | -6143 | 19375 | D1 | 30928 |
| Atlix | 24 | 53 | 101 | 19 | 182 | -6147 | 19543 | D2 | 31133 |
| Atlix | 22 | 18 | 102 | 34 | 219 | -6112 | 19457 | D2 | 31133 |
| Atlix | 22 | 52 | 101 | 37 | 213 | -6239 | 19634 | D2 | 31133 |
| Atlix | 21 | 16 | 101 | 30 | 178 | -6151 | 19623 | D2 | 31133 |
| Atlix | 21 | 22 | 102 | 30 | 183 | -6142 | 19669 | D2 | 31133 |
| Atlix | 22 | 27 | 101 | 33 | 219 | -6244 | 19830 | D2 | 31133 |
| Atlix | 22 | 34 | 102 | 15 | 210 | -6242 | 19562 | D2 | 31133 |
| Atlix | 22 | 53 | 102 | 32 | 213 | -6216 | 19671 | D2 | 31133 |
| Atlix | 22 | 18 | 101 | 34 | 216 | -6246 | 19945 | D2 | 31133 |
| Atlix | 23 | 50 | 101 | 2 | 126 | -6125 | 19497 | D2 | 31133 |
| Atlix | 21 | 35 | 101 | 15 | 205 | -6150 | 19460 | D2 | 31133 |
| Atlix | 24 | 31 | 101 | 32 | 171 | -59829 | 19944 | D2 | 31133 |
| Atlix | 23 | 38 | 101 | 38 | 213 | -6136 | 19366 | D2 | 31133 |
| Atlix | 22 | 37 | 101 | 6 | 203 | -6229 | 19553 | D2 | 31133 |
| Atlix | 21 | 52 | 102 | 33 | 113 | -6169 | 19647 | D2 | 31133 |
| Atlix | 21 | 40 | 101 | 20 | 172 | -6175 | 19555 | D2 | 31133 |
| Atlix | 22 | 28 | 101 | 9 | 193 | -6281 | 19550 | D2 | 31133 |
| Atlix | 21 | 28 | 101 | 28 | 119 | -6106 | 19534 | D2 | 31133 |
| Atlix | 21 | 47 | 101 | 18 | 17 | -61615 | 19556 | D2 | 31133 |
| Atlix | 22 | 44 | 102 | 22 | 219 | -6229 | 19723 | D2 | 31133 |
| Atlix | 22 | 46 | 101 | 34 | 188 | -6259 | 19430 | D2 | 31133 |
| Atlix | 22 | 50 | 102 | 31 | 256 | -62226 | 19672 | D2 | 31133 |
| Atlix | 23 | 18 | 102 | 21 | 198 | -61649 | 19689 | D2 | 31133 |
| Atlix | 22 | 10 | 101 | 37 | 211 | -62765 | 19863 | D2 | 31133 |
| Atlix | 22 | 31 | 101 | 33 | 214 | -62371 | 19846 | D2 | 31133 |
| Atlix | 22 | 21 | 101 | 43 | 216 | -62484 | 19906 | D2 | 31133 |
| Atlix | 22 | 21 | 102 | 33 | 119 | -62862 | 19623 | D2 | 31133 |
| Atlix | 22 | 46 | 102 | 34 | 242 | -62305 | 19671 | D2 | 31133 |

TESIS CON FALLA DE ORIGEN