

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**



FACULTAD DE CIENCIAS

**ESTUDIO DE LA INFLUENCIA CLIMÁTICA
SOBRE LA VEGETACIÓN EN EL SUR DE
TAMAULIPAS, MÉXICO.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

R E S E N T A :

FAUSTINO EDGAR MENDOZA GÓMEZ



**DIRECTORA DE TESIS:
DRA. MARÍA ENGRACIA HERNÁNDEZ CERDA**

Cd. Universitaria, D.F. 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Hoja de datos del jurado

Presidente: Dra. Laura Elena Maderey Rascón

Vocal: M.C. Enrique Azpra Romero

Secretario: Dra. María Engracia Hernández Cerda

1er SUPLENTE: M.C. Verónica Aguilar Zepeda

2do SUPLENTE : M.C. Germán Carrasco Anaya.

Datos del trabajo escrito

Estudio de la influencia climática sobre la vegetación en el sur de Tamaulipas, México. 72 pp., 2014.

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA

DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA FÍSICA

INSTITUTO DE GEOGRAFÍA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ASESORA DEL TEMA: _____

María Engracia Hernández Cerda

SUSTENTANTE: _____

Faustino Edgar Mendoza Gómez

Agradecimiento académicos.

A los sinodales y revisores de esta obra, por sus consejos y paciencia a últimos momentos, por su tiempo y pendiente para terminar este trabajo, que sin ellos esta obra no hubiera llegado a este punto, de todo corazón ¡Muchas gracias! Ellos son:

Dra. Laura Elena Maderey Rascón Instituto de Geografía, UNAM

M.C. Enrique Azpra Romero Centro de ciencias de la Atmósfera, UNAM

M.C. Francisco Javier Villicaña Ruíz Centro de ciencias de la Atmósfera,
UNAM

M.C. Verónica Aguilar Zepeda Facultad de Ciencias, UNAM

M.C. Germán Carrasco Anaya Preparatoria No. 9 "Pedro de Alba", UNAM

En último lugar por tener que hacerse la mención con más cariño y detalle. Por haberme aceptado para apoyarme, por todas y cada una de las horas dedicadas a mi desarrollo emocional y académico, por todas las palabras de ánimo y abrazos cuando más eran necesarios, por el inmenso apoyo y preocupación que va más allá del deber académico, por enseñarme otra manera de ver y disfrutar la vida, por toda la preocupación que tuvo para que este y otros méritos fueran posibles, mi más sincera y profundo agradecimiento. Una suerte y un honor haber realizado este trabajo de muchos que nos falta por hacer.

Con respeto, cariño y entusiasmo ¡Muchas, muchas gracias!

Dra. María Engracia Hernández Cerda

19°19'29.98"N , 99°11'8.16"O, México, Diciembre del 2014

Tabla de contenido.

Resumen	11
Introducción	12
1. Marco teórico	13
1.1. Atmósfera	14
1.2. Hidrósfera	14
1.3. Litósfera	14
1.4. Biósfera	15
2. Antecedentes	16
2.1. Clima y vegetación	16
2.2. Temperatura	17
2.3. Agua	18
2.4. Índice de Lang o Cociente P/T	19
2.5. Índice de Vegetación	21
2.6 . Sensor NOAA-AHRR	23
3. Objetivos e hipótesis	24
3.1. Objetivo general	24
3.2 Objetivos secundarios	24
3.3. Hipótesis	24
4. Área de estudio	25
4.1 Ubicación	25
4.2 Fisiografía y Topografía	26
4.3 Clima	28
4.4 Principales fenómenos meteorológicos	33
4.5 Vegetación	36
4.5.1 Selva baja caducifolia	37
4.5.2. Matorral submontano	38
5. Metodología	39
5.1. Zona de estudio	39
5.2 Datos climáticos	40
5.3 Ciclones tropicales	41
5.4 Obtención del NDVI y correlaciones	42
6. Resultados	45

7. Discusión y conclusiones64

8. Bibliografía citada65

Índice de figuras, gráficas y tablas

Mapa 1. Zona de estudio situada en la zona sur del Estado de Tamaulipas ...

Mapa 2. Hipsometría del área de estudio, se muestra la elevación desde los 200 hasta los 1200 msnm.

Mapa 3.

Mapa 4. Temperatura media anual del área de estudio, se muestra la temperatura que oscila entre los 18ª y 28ª C.

Mapa 5. Temperatura máxima anual del área de estudio, oscila entre los 28ª hasta los 38ªC.

Mapa 6. Temperatura mínima anual del área de estudio, oscila entre los 10ª hasta los 14ªC.

Mapa 7. Climas tipo del área de estudio, donde se aprecia las los climas cálidos y semicálidos.

Gráficas

Gráfica 1. Grado de humedad respecto a tres desviaciones estándar, para la selva baja caducifolia.

Gráfica 2. Grado de humedad respecto a tres desviaciones estándar, para el matorral submontano

Gráfica 3. Temperatura mínima, media y máxima para la selva baja caducifolia.

Gráfica 4. Temperatura mínima, media y máxima, para el matorral submontano

Gráfica 5. Precipitación de la selva baja caducifolia y matorral submontano.

Gráfica 6. Comportamiento de la evaporación, precipitación, evapotranspiración potencial, Índice de Lang en el matorral submontano.

Gráfica 7. Comportamiento de la evaporación, evapotranspiración potencial, Índice de Lang en el matorral submontano.

Gráfica 8. Comportamiento de la precipitación y NDVI, selva baja caducifolia.

Gráfica 9. Comportamiento de la precipitación y NDVI, matorral submontano.

Gráfica 10. Comportamiento de la oscilación térmica y NDVI en la SBC a lo largo del año.

Gráfica 11. Comportamiento de la oscilación térmica y NDVI en la MS a lo largo del año.

Gráfica 12. Temperatura mínima y NDVI, selva baja caducifolia.

Gráfica 13. Temperatura mínima y NDVI, matorral subalpino.

Gráfica 14. Temperatura máxima y NDVI, selva baja caducifolia.

Gráfica 15. Temperatura máxima y NDVI, matorral submontano.

Gráfica 14. Temperatura máxima y NDVI, selva baja caducifolia.

Gráfica 15. Temperatura máxima y NDVI, matorral submontano.

Gráfica 16. Oscilación térmica SBC, con el comportamiento promedio de la oscilación térmica de la zona.

Gráfica 17. Oscilación térmica del matorral subalpino, con el comportamiento promedio de la oscilación térmica de la zona

Tablas

Tabla 1. Huracanes registrados en la zona de estudio, weather Unisys.

Tabla 2. Valores de correlación del NDVI con las diferentes variables climáticas, temperatura mínima, temperatura media, temperatura máxima, precipitación, evaporación, evapotranspiración potencial, e índice de Lang, en la selva baja caducifolia, las celdas coloreadas tiene $p < 0.05$.

Tabla 3. Valores de correlación del NDVI con las diferentes variables climáticas, temperatura mínima, temperatura media, temperatura máxima, precipitación, evaporación, evapotranspiración potencial, e índice de Lang, en el matorral submontano, las celdas coloreadas tiene $p < 0.05$.

Tabla 4. Oscilación térmica, selva baja caducifolia.

Tabla 5. Oscilación térmica, matorral submontano.

Índice de abreviaturas

AVHRR. Advanced Very High Resolution Radiometer, para el caso particular de este trabajo se utilizará el término NDVI-AVHRR que hace referencia al índice de vegetación normalizado diferenciado obtenido bajo esta tecnología de radiométrica.

ETP. Evapotranspiración potencial.

MSNM. Metros sobre el nivel del mar

MS. Matorral Submontano.

NDVI. Índice de vegetación diferenciado normalizado.

NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration

P/T. Índice de Lang ó Coeficiente de humedad.

SBC. Selva baja Caducifolia

SIG S. Sistemas de información geográfica.

INTRODUCCIÓN

La cantidad y distribución anual de las precipitaciones en una región, especialmente durante determinados periodos del año, afecta el desarrollo y crecimiento de la vegetación (Belda, et al 1999).

Las lluvias de verano, en México, son substancialmente importantes, ya que deben de mantener el grado de humedad adecuado en los suelos, requiriendo en esta época la vegetación, en general, mayor cantidad de agua que en otros periodos, debido a las elevadas temperaturas que se registran. Por otro lado la temperatura es un factor primordial para el desarrollo y supervivencia de la plantas y para configurar las características de la vegetación. La mayor parte de las actividades vitales depende o está influida por uno o varios factores térmicos, por lo que el conocimiento del comportamiento de las plantas ante el calor, el frío y el régimen de temperaturas es fundamental (Ferrerías, 2000).

Numerosos investigadores se han dado a la tarea de analizar el impacto de las condiciones climáticas sobre la vegetación natural o sobre los cultivos a diferentes escalas espaciales mediante el índice de vegetación de la diferencia normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés), obtenido de imágenes de satélite (Serrano, et al 2005; Iglesias, et al 2010; Belda, et al 1999; Paruelo, et al 1998).

En este estudio se analiza la influencia de diferentes parámetros climáticos sobre la variabilidad mensual del NDVI en dos formaciones vegetales la selva baja caducifolia y matorral submontano, en una región subhúmeda del centro - sur del estado de Tamaulipas. Este análisis se realiza estacionalmente, durante la mitad fría y caliente del año para determinar si las influencias cambian a lo largo del año y en función de las formaciones vegetales utilizadas. Los estudios sobre la

influencia del clima sobre la vegetación en esta región del país son escasos, es por ello que es necesario desarrollar este tipo de trabajos en donde los modelos climáticos predicen cambios importantes a lo largo del siglo XXI, que podrían tener serios impactos sobre la vegetación natural y los cultivos (IPCC, 2007).

1. MARCO TEÓRICO

A una distancia de 4,500 millones de Kilómetros, la sonda Voyager I tomó una fotografía de la Tierra, en ella el planeta aparece como un pequeño punto azul. A esa distancia es imposible reconocer en ella al increíble sistema dinámico e interactivo que posee, con todos sus componentes y cualidades que lo hacen único: su particular clima y la vida son algunas de sus características más importantes.

Los distintos climas del mundo no son sino el resultado del funcionamiento del sistema climático mundial, un gigantesco sistema dinámico y abierto, alimentado por la energía solar, e integrado por todas las envolturas planetarias: la atmósfera, la hidrosfera, la litosfera, la criósfera y la biosfera. Los distintos elementos mantienen fuertes vínculos entre sí dentro de una amplia gama espacio-temporal, donde los procesos físicos implican desde escalas de pequeña dimensión hasta aquellos que abarcan todo el planeta y pueden durar desde minutos hasta décadas. Su actividad involucra continuos ajustes internos de entrada y salida de energía autorregulable, convirtiendo al clima en un complejo sistema dinámico que se mantiene en equilibrio (Cuadrat, 1997). Estas 5 capas que conforman la superficie de la Tierra y parte de cima son:

1.1. Atmósfera

Proviene de la palabra griega "atmos" y significa vapor, es la capa más externa de la Tierra, está compuesta por la mezcla de los gases Nitrógeno 78%, Oxígeno 21 %, el Dióxido de carbono, Ozono, vapor de agua y Argón conforman el 1% restante.

Se divide, de acuerdo a la variación de temperatura en la vertical, en Exosfera, Termosfera, Mesosfera, Estratosfera y Troposfera, la mitad de ella se encuentra por debajo de los 5.6 Kilómetros y el 90% ocupa una franja de 16 Kilómetros. (Robinson, 1999)

Hidrosfera.

Está formada por el conjunto de partes líquidas de la Tierra, compuesta principalmente por hidrógeno y oxígeno. Incluye los lagos, ríos, las aguas subterráneas y principalmente los océanos. Este último contiene el 97% de toda la hidrosfera. Es sin duda la esfera más importante tras la atmósfera, gracias a su evaporación transfiere a la atmósfera agua y energía de onda larga en forma de vapor, sin dejar la importancia que tiene como termorregulador de la Tierra. (Leyva,2001).

1.2. Litósfera

Abarca desde la superficie terrestre hasta algunos kilómetros de profundidad, está compuesta principalmente de silicio, oxígeno, carbono, aluminio, hierro y nitrógeno. Suministra buena parte de las partículas que contiene el aire, e interactúa con la atmósfera transfiriendo masa y calor, influye en el balance de calor y humedad mediante el albedo (reflejo de la luz solar), su capacidad de almacenamiento de calor es muy pobre, el variado relieve afecta de forma directa al balance local de energía, evaporación, reflectividad de la superficie, etc. (Cuadrat,1997)

1.3. Biósfera

La interacción entre la atmósfera, hidrósfera y litósfera, generan condiciones propicias para la existencia de la biosfera, posiblemente fue la última esfera en aparecer, hace aproximadamente 3.5 mil millones de años (Nisbet, 2001). Está compuesta por todas los organismos que se arrastran, vuelan, trepan, culebream, fotosintetizan, descomponen, etc., comprenden desde el diminuto Nanoarchaeum hasta las gigantesca Sequoiadendron giganteum (secuoya gigante). La enorme diversidad de formas de vida son resultado de la inmensa cantidad de medios ambientes que existen y a la interminable capacidad de adaptarse y responder a ese medio a través de procesos evolutivos de los seres vivos.

La biósfera se extiende por debajo del suelo oceánico y, por arriba, hasta varios kilómetros dentro de la atmosfera, está compuesta principalmente por carbono, nitrógeno, oxígeno e hidrógeno. Tiene la capacidad de modificar todas las esferas antes mencionadas, desempeña un papel fundamental en los balances energía-materia de todos los ciclos biogeoquímicos. (Walter, 1978)

El clima funciona a partir de la energía del Sol, la cual calienta la superficie terrestre y oceánica; debido a diversos factores como: la esfericidad de la Tierra, la inclinación del eje, el albedo de las distintas superficies, la topografía, etc., se genera un desequilibrio térmico, con un excedente en la zonas tropicales y un déficit en los polos, generando un continuo transporte de masas de aire caliente (frío) desde el ecuador (polos) hasta los polos (ecuador), como un mecanismo para repartir el calor en todo el planeta, y formar los sistemas de circulación atmosférica y oceánica, que son la fuente de muchos otros fenómenos meteorológicos. Sumado a una atmósfera

selectiva en ciertas longitudes de onda y que contiene gases que forman un efecto invernadero natural conservando el calor y evitando que el planeta se enfríe abruptamente (Reyes, 2001).

Asimismo, ocurre que a la aparición de un sólo fenómeno, los demás componentes del clima pueden aumentarlo o disminuirlo, o inclusive, hasta desencadenar que otros fenómenos aparezcan o desaparezcan bajo un esquema de retroalimentación.

Por tanto el clima es un sistema alimentado en todo momento por el Sol, en constante intercambio de materia y energía con los diferentes componentes del planeta, en condiciones tanto fijas como cambiantes y continuo equilibrio transitorio (Cuadrat, 1997).

2. ANTECEDENTES

2.1. Clima y vegetación

Hasta donde se conoce, la Tierra es el único planeta con capacidad de albergar vida, se han estimado cerca de 8 710 000 especies eucariontes de las cuales 300 000 son especies vegetales (UNEP, 2013). Se considera que son tres factores los determinantes en la distribución geográfica de las plantas: los factores históricos, las interacciones con otras especies y las condiciones ambientales (Rabosky, 2012).

Asimismo, el clima y el tiempo meteorológico (temperie), como parte de las condiciones ambientales, son dos de los más importantes, para la distribución y funcionalidad de plantas y animales, a nivel de poblaciones y comunidades (Stoutjesdijk and Barkman, 1992).

Varios autores entre ellos Walter (1977) mencionan al clima como un factor relevante en la distribución de las comunidades vegetales a macro escala, en particular la temperatura y la precipitación (García, 1980; González Medrano, 2003; Orellana y Hernández, 2004); mientras

que, a micro escala o de forma secundaria, son importantes el tipo de suelo y topografía. (Brovkin, 2002),

La temperatura, la luz y la lluvia son, probablemente, los factores climáticos de mayor importancia para las plantas. Estos regulan el crecimiento de formas diferentes y variables, por tanto las plantas responden a los cambios diurnos, a los estacionales y a otras fluctuaciones de los componentes del clima (Bonner and Galston, 1973).

2.2. Temperatura

La mayor parte de la energía disponible en la superficie terrestre procede del Sol y de ella dependen todos los procesos físicos que permiten la vida sobre la Tierra. Todas las variables climáticas dependen, directa o indirectamente de la radiación (Fernández, 1996).

El efecto más directo de la radiación solar es la temperatura y este elemento es, junto con la precipitación, el más significativo de las características climáticas de una zona.

Las condiciones térmicas están consideradas como factor energético, al igual que las condiciones de luminosidad y duración del día. Por tanto, todos los procesos biológicos dependen de la temperatura, para las plantas es de gran importancia ya que determina la fotosíntesis, la floración y fructificación, prácticamente toda la producción vegetal.

También actúa ecológicamente, siendo en muchos sentidos, junto con la precipitación, factor importante, para regular y determinar las zonas de vegetación sobre la superficie terrestre. Asimismo, los cambios diurnos de temperatura tienen gran importancia para el crecimiento de las plantas. (Ferrerías, 2000).

2.3 Agua

El agua es el único compuesto presente en todos los elementos del sistema terrestre, y conforma cerca de $\frac{3}{4}$ partes de la superficie de la Tierra. (Tarbuck, 2005)

Para la vegetación representa cuando menos el 50% de su peso neto, constituye un factor de soporte y funcionalidad para sus tejidos, la marchitez es factor de escasez de agua

La producción y frondosidad de la vegetación dependen de las condiciones hídricas, ya que en presencia de esta se realiza la absorción del CO_2 por tanto, es muy importante para todos los procesos metabólicos y al igual que el factor térmico el agua es determinante para la fotosíntesis. (Ferrerías, 2000)

La principal fuente de agua utilizable por la vegetación proviene de las lluvias, cuya agua penetra en el suelo, de donde puede ser tomada por las raíces, por lo que su ritmo temporal y su distribución espacial condicionan los ciclos agrícolas y la distribución de las grandes comunidades vegetales. (Populin, 1960)

El factor hídrico es uno de los más importantes elementos del clima, la relación está muy clara con los estadios fenológicos de las plantas, su surgimiento y senescencia están asociados a los periodos de lluvia y sequía respectivamente.

Un factor importante que contempla las condiciones hídricas y también los factores térmicos, es la evaporación que es el paso de agua líquida a vapor debido al aporte de energía calorífica. El proceso de la evaporación requiere una gran cantidad de energía, tan sólo para evaporar un gramo de agua a 0°C se requieren 600 calorías. Este tipo de cambio de energía en el suelo contribuye a regular la temperatura de la Tierra y su oscilación diaria, ya que en las

horas diurnas hay evaporación y en las horas nocturnas hay condensación, suavizando las variaciones térmicas. (Cuadrat, 1997).

La velocidad y cantidad de evaporación está determinada por la temperatura, aunque de igual manera la saturación de la atmósfera, por tanto la evaporación será rápida en presencia de aire seco (Cuadrat, 1997).

Esto lleva de la mano a un término que liga a la evaporación con las plantas: la evapotranspiración, ésta se define como la pérdida de humedad del suelo por la evaporación directa y la transpiración de las plantas; desde luego la evapotranspiración está limitada por el agua disponible, por lo cual se deben de diferenciar; es por ello que se utilizan dos conceptos para la evapotranspiración: *Evapotranspiración real (ETR)*, aquí se hace referencia a la cantidad de agua perdida y la *Evaporación potencial (ETP)*, está corresponde a la cantidad máxima de agua que se puede perder en el suelo, bajo el clima y una cobertura vegetal determinada, suponiendo una cantidad de agua ilimitada sobre la superficie. (Cuadrat,1997)

En México se utiliza el método de Thornwaite III, entre otros, por su facilidad de cálculo, para evaluar la disponibilidad de humedad en el suelo, así como la ETP y la ETR (Estrada et al, 2008)

2.4 Índice de Lang o Cociente P/T

El P/T o índice de Lang es un estimador de eficiencia de la precipitación en relación con la temperatura. Éste se calcula como el cociente entre la precipitación total anual y la temperatura media anual de un lugar, o en todo caso, de una zona. Ha sido considerado como un índice de humedad o aridez, según se interprete, y ha sido empleado en diferentes estudios por muchos años. En México fue incluido en las modificaciones a la clasificación climática de Köppen y

adaptado a las condiciones del país por García en 1964 (García, 2004). Esta autora agrupó los datos de sitios áridos y semiáridos del país, calculándolos por el método estadístico de las cuartiles y obtuvo como resultado un valor límite superior de 22.9. Con el mismo método logró obtener el límite inferior que separa a los semiáridos y los áridos respecto a los subhúmedos, resultando con un valor de 43.2. También se empleó para establecer las divisiones de los subhúmedos, donde los límites estadísticos teóricos entre los subhúmedos más secos (w_0) son valores menores a 43.2, los intermedios (w_1) entre 43.2 y 55.3 y los más húmedos (w_2) el límite es 55.3.

Otro ejemplo donde se emplea este cociente como un indicador de las condiciones de humedad de un lugar es el trabajo de Rivas-Martínez (2008), donde lo denomina "índice ombrotérmico mensual, por trimestres y anual", con base en los valores obtenidos de estos índices bioclimáticos, como él los denomina, establece la subdivisión de los bioclimas de la Tierra. (Pluvial, pluviestacional, xérico, desértico e hiperdesértico).

Como se explicó, la temperatura y precipitación son los factores más esenciales para el desarrollo de la cobertura vegetal, así como su variación a lo largo del año. Por tanto los cambios en los eventos meteorológicos deberán tener un cambio en los estadios fenológicos de las comunidades vegetales. (Ferrerías, 2000).

En las últimas décadas ha aumentado el interés por entender como afecta el clima la interacción con la vegetación, en especial, enfocando hacia el cambio climático global y la desertificación (IPCC,2002)

2.5 Índices de Vegetación

La teledetección puede ser definida como la capacidad de obtener información de un objeto sin mantener contacto con él, en los últimos años ha tenido un gran desarrollo. Se asume que entre la Tierra y el sensor existe una interacción energética, ya sea por reflexión de la energía solar o de un haz energético artificial. Este haz energético, debe ser recibido por el sensor, en donde sea almacenado en forma conveniente, bien a bordo del satélite, bien en las estaciones receptoras, con la finalidad de que pueda ser interpretado para una determinada aplicación (Chuvienco, 2008).

En los estudios climáticos y del medio ambiente (vegetación natural y cultivada, por ejemplo), es la radiación electromagnética el medio de transmisión más usado y los objetos son identificados por su signatura espectral o conjunto de longitudes de onda en que emiten radiación (Fernández , 1996).

Uno de los índices espectrales relacionados con la cobertura vegetal más usados para detectar dichas perturbaciones, es el índice de vegetación de la diferencia normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés). Tiene gran valor en términos ecológicos, ya que es un buen estimador de la radiación fotosintéticamente activa interceptada por la vegetación. Este índice permite observar el nivel de crecimiento de la vegetación en las diferentes regiones y sintetiza el resultado de la dinámica del funcionamiento y los patrones debidos a factores físicos, bióticos y disturbios (Paruelo, 1998).

El NDVI es de fácil interpretación, ya que sus valores varían entre +1 y -1, lo cual permite generar imágenes relacionadas con la densidad de biomasa vegetal y conocer el estado de vigor vegetal de grandes superficies (Chuvienco, 2008, Iglesias, 2010).

Basado en el contraste de absorción/emisión de los pigmentos fotosintéticos, es posible obtener una diferencia de las bandas Roja e

infrarroja cercana (IRC). La vegetación sana tiene un alto comportamiento espectral en la banda de Infrarrojo Cercano (IRC); y menos intensa en el visible. Debido a que las paredes celulares de las hojas están llenas de agua, reflejan una mayor cantidad IRC, ocurre lo contrario cuando la hoja presenta estrés hídrico, plaga, enfermedad o muerte, presenta un color amarillo y refleja menor IRC. Se puede señalar que cuanto mayor sea el contraste entre las reflectividades de las bandas infrarroja y roja, mayor vigor vegetal presentará la cubierta observada.

Bajos valores de contraste indican una vegetación enferma o senescente, hasta llegar a las cubiertas sin vegetación, que ofrecen un contraste muy pequeño. Las rocas, suelo desnudo y agua registran índices menores a 0.1. Se puede señalar como umbral crítico para cubiertas vegetales un valor de NDVI en torno a 0.1 y para la vegetación densa de 0.5 (Chuvieco, op cit).

Este índice ha sido usado en el monitoreo de la sequía, para el pronóstico de productividad agrícola, para la evaluación de riesgo en incendios forestales, y observar respuesta de la vegetación a diferentes fenómenos meteorológicos. Una de sus principales ventajas es su capacidad de uso a nivel global (Chuvieco, op cit; Paruelo et al, 1998).

Hoy en día existe un énfasis creciente en desarrollar métodos de caracterización rápida de la estructura, diversidad y procesos de ecosistemas utilizando técnicas de percepción remota para entre otras medir el grado de daño o regeneración de cobertura vegetal, (Turner et al., 2003), (Rosete, F., Bocco, G.2003) Fairbanks y McGwire, 2004, Feeley,et al., 2005). El NDVI tiene un gran potencial para

identificar variaciones en estructura, composición y diversidad de los bosques (Turner et al., 2003).

Se han realizado un sinnúmero de trabajos que demuestran el impacto del clima sobre la vegetación natural o sobre los cultivos a diferentes escalas temporales o espaciales mediante el NDVI, obtenido de imágenes de satélite, algunos de ellos encuentran que existe una fuerte correlación estadística inversa entre la temperatura y la precipitación (Serrano, 2005).

2.6. Sensor NOAA- AVHRR

La familia de satélites NOAA, constituyen uno de los múltiples programas diseñados para enviar información meteorológica a la superficie terrestre. Los satélites meteorológicos son los que cuentan con una mayor solidez en la serie de datos disponible, ya que vienen siendo plenamente operativos desde los años setenta. El primer satélite de la serie se lanzó en los años sesenta, denominándose TIROS.

Más tarde pasan a denominarse NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration Satellite). El principal objetivo de estos satélites es recabar información sobre el estado actual de la atmósfera, pero también fue equipado con otro tipo de sensores para estudiar la parte terrestre, el sensor denominado AVHRR (Advance Very High Resolution) diseñado para proporcionar imágenes con una resolución de 1,1 km (en el nadir), en 5 bandas del espectro: Rojo (R), e Infrarrojo cercano (IR). Cuenta con un ángulo de barrido muy amplio (55,4° para ambos lados de la traza), esto conlleva notables problemas geométricos y radiométricos en las imágenes resultantes, De esta forma, la resolución espacial del nadir (1.1 x 1.1 km) puede degradarse hasta 2.4 x 6 Km en los extremos de la imagen. Estos

sensores entregan datos dos veces al día de las propiedades espectrales de la superficie de la Tierra (Chuvienco, 2008)(NOAA,2013).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Determinar qué elemento(s) climático (temperatura, precipitación, evaporación y evapotranspiración) tiene un mayor efecto en el desarrollo de la selva baja caducifolia y matorral, así como definir el tiempo de respuesta de la vegetación a estas variables climáticas, mediante el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), en la zona de estudio.

3.2 Objetivos secundarios

Elaboración de mapas de la distribución espacial de los elementos climáticos: temperatura (máxima, media y mínima), precipitación, y evapotranspiración de la zona de estudio.

Determinar el comportamiento del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), de las cubiertas de vegetación estudiadas a lo largo del año.

3.3 Hipótesis

Existe una relación directa o indirecta entre los elementos climáticos tales como temperatura, precipitación, evaporación y evapotranspiración y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).

4. Área de estudio.

4.1 Ubicación

La zona de estudio se localiza al centro - sur del estado de Tamaulipas, al sureste de Ciudad Victoria. Está ubicada entre las coordenadas: 22° 42' y 23° 57' latitud norte y 97° 51' y 99° 02' longitud oeste, y una superficie de 21461 Km², así mismo comprende principalmente los municipios, de Soto la Marina, Aldama, Casas, Llera, González y Xicoténcatl; incluye pequeñas zonas de los municipios de Victoria, Abasolo, Altamira, Gómez Farías, El Mante, Güémez, Padilla y Jiménez, abarca hasta la costa. (INEGI 2011). (Mapa 1).



Mapa 1. Zona de estudio situada en la zona sur del Estado de Tamaulipas (Izquierda), Sierra de Tamaulipas con división municipal (Derecha).

El estado de Tamaulipas posee una amplia cobertura vegetal, se encuentran 9 de los 10 tipos de vegetación reconocidos por Rzedowski, (1994). Flores y Gerez, (1994), indican que de acuerdo con las estimaciones que se han realizado por diferentes instancias gubernamentales, de la superficie con vegetación natural en buenas condiciones, de 1981 a 1992, hubo una reducción de 20.7% en la

superficie vegetal. En contraste, el uso agropecuario se incrementó un 13%. Como ejemplo, indican que los bosques tropicales (caducifolio, subcaducifolio y espinoso) la reducción fue de 4.8% y la superficie cubierta por los matorrales xerófilos alcanzó el 15.3%, en general concluyen que todos los tipos de vegetación del estado disminuyeron su extensión.

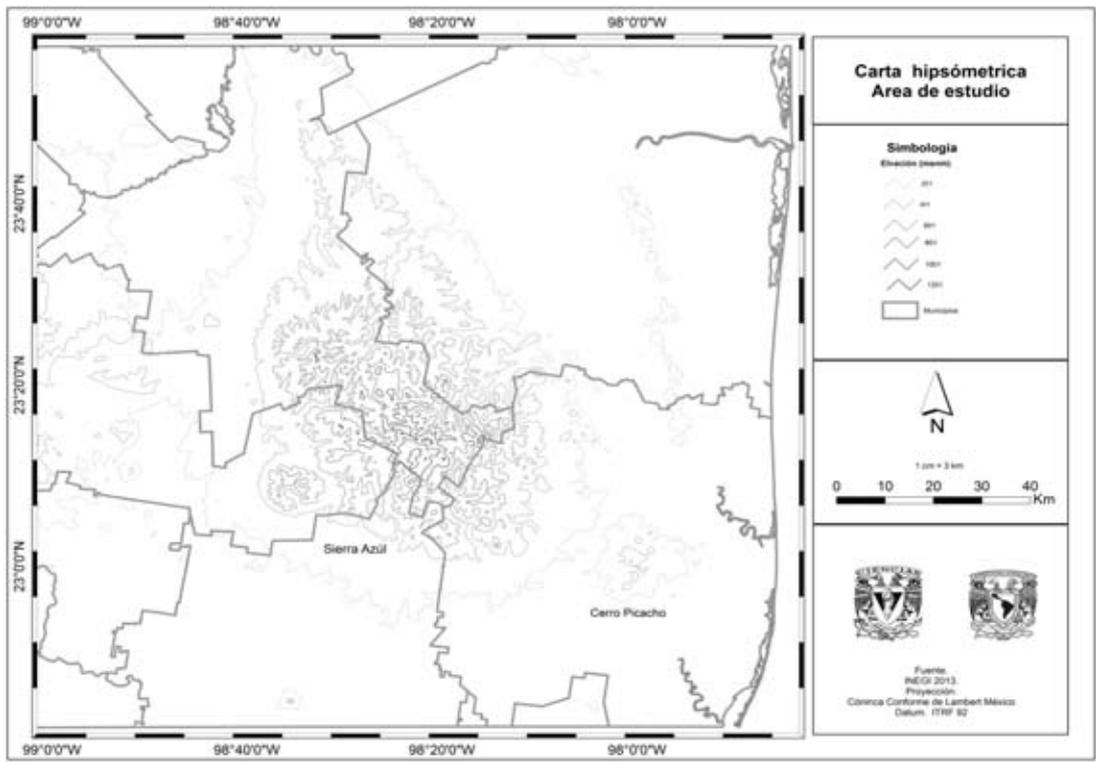
Rzedowski (1994), menciona que el bosque tropical caducifolio del noreste de México registra una considerable concentración de endemismos y que posee una alta diversidad de especies de encino en la Sierra Madre Oriental

4.2 Fisiografía y Topografía

La zona de estudio se localiza en la región fisiográfica Llanura costera del Golfo y Sierra Madre Oriental (García y Falcón 1989) y en la provincia fisiográfica Llanura costera del Golfo Norte (INEGI 1993). En esta provincia fisiográfica, en el estado de Tamaulipas se localizan porciones amplias de las dos subprovincias que la conforman en su parte mexicana, que son: la Llanura costera Tamaulipeca y la subprovincia de las Llanuras y Lomeríos. En esta última se encuentran además las sierras de San Carlos y Tamaulipas, que por sus morfologías marcadamente distintas al resto de la provincia, se han clasificado como discontinuidades fisiográficas. La zona de estudio se localiza principalmente sobre la sierra de Tamaulipas, pero abarca parte de la subprovincia de las Llanuras y Lomeríos.

Como su nombre lo dice, la segunda subprovincia, se caracteriza por sus extensas llanuras interrumpidas por lomeríos, más abruptamente por las sierras de San Carlos y Tamaulipas.

La sierra de Tamaulipas está formada de calizas afectadas por cinco cuerpos de roca intrusiva ácida. Es escarpada y presenta una disección fuerte con drenaje radial. Tiene un profundo cañón por donde fluye con dirección sur-norte el río Soto la Marina. En el núcleo de la sierra se levantan los picos Sierra Azul y cerro Picacho, con altitudes de 1400 y 1200msnm, respectivamente (INEGI 1993). (mapa 2) En esta región se localizan suelos aluviales y profundos, desde arcillosos hasta migajones arenosos que se encuentran en las llanuras y valles, así como suelos derivados de las rocas a las que sobreyacen, en lomeríos y mesetas fundamentalmente (INEGI, op cit).



Mapa 2. Hipsometría del área de estudio, se muestra la elevación desde los 200 hasta los 1200 msnm.

Se estima que en más de 1 300 hectáreas por año a partir de 1980; en el caso de selvas de la sierra y sus corredores biológicos, tienen una tasa de deforestación de 0.9% anual, principalmente debido a la ganadería, agricultura, y más recientemente, a la producción ilegal de carbón, del cual, la sierra de Tamaulipas es el principal

abastecedor del estado de Tamaulipas (Gutiérrez 2009 citado en SEMARNAT, 2014). La selva baja caducifolia, el matorral espinoso tamaulipeco y los mezquiales son los que han recibido un mayor impacto por deforestación.

La sierra de Tamaulipas es uno de los espacios con mayor capital natural de Tamaulipas y por ello la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, CONABIO (Arriaga, et al, 2000), la reconoció como una región prioritaria para la conservación y definió una extensión de 340 000 hectáreas.

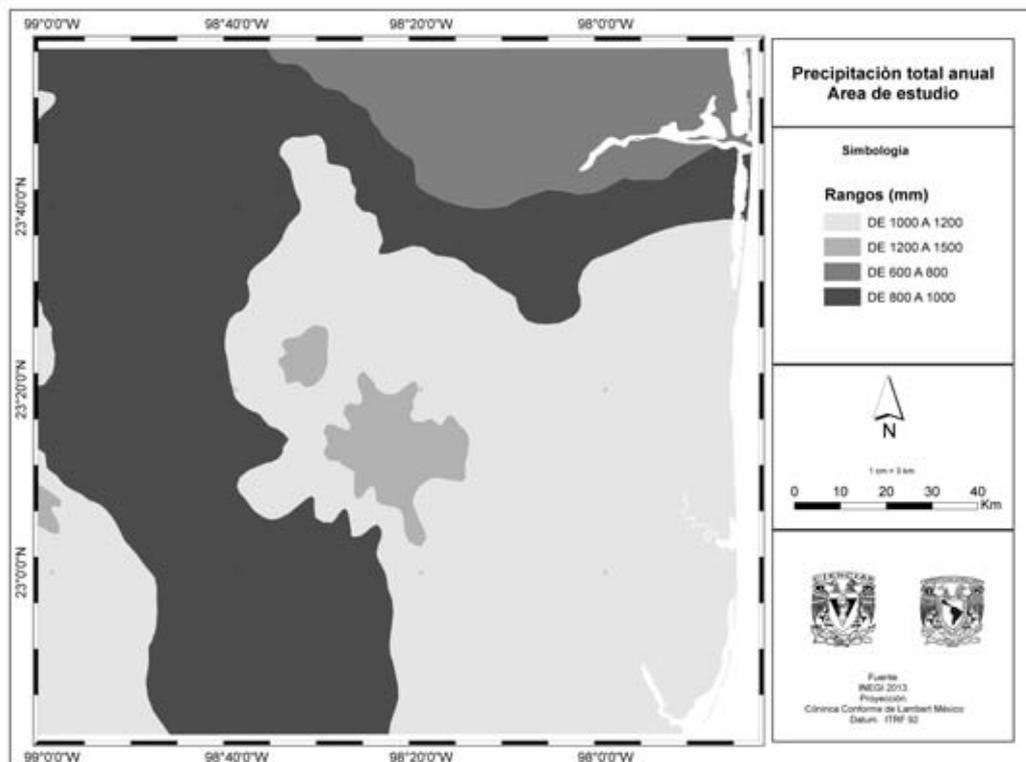
La Comisión Nacional de Áreas Protegidas (2005), en su "Estudio previo justificativo para el establecimiento de la Reserva de la Biosfera Sierra de Tamaulipas", establece una superficie para conservación y protección de 290 313 hectáreas, con una zona de influencia de hasta 150 000 hectáreas para políticas de restauración y uso sustentable. A la fecha la sierra se encuentra registrada como "Aviso de decreto" por la Comisión Nacional de Áreas protegidas (Mapa de áreas naturales protegidas. Regionalización CONANP 2007-2012)

El proceso de declaratoria como Reserva de la Biosfera fue iniciado en el 2006 (SEMARNAT, 2014).

4.3 Clima

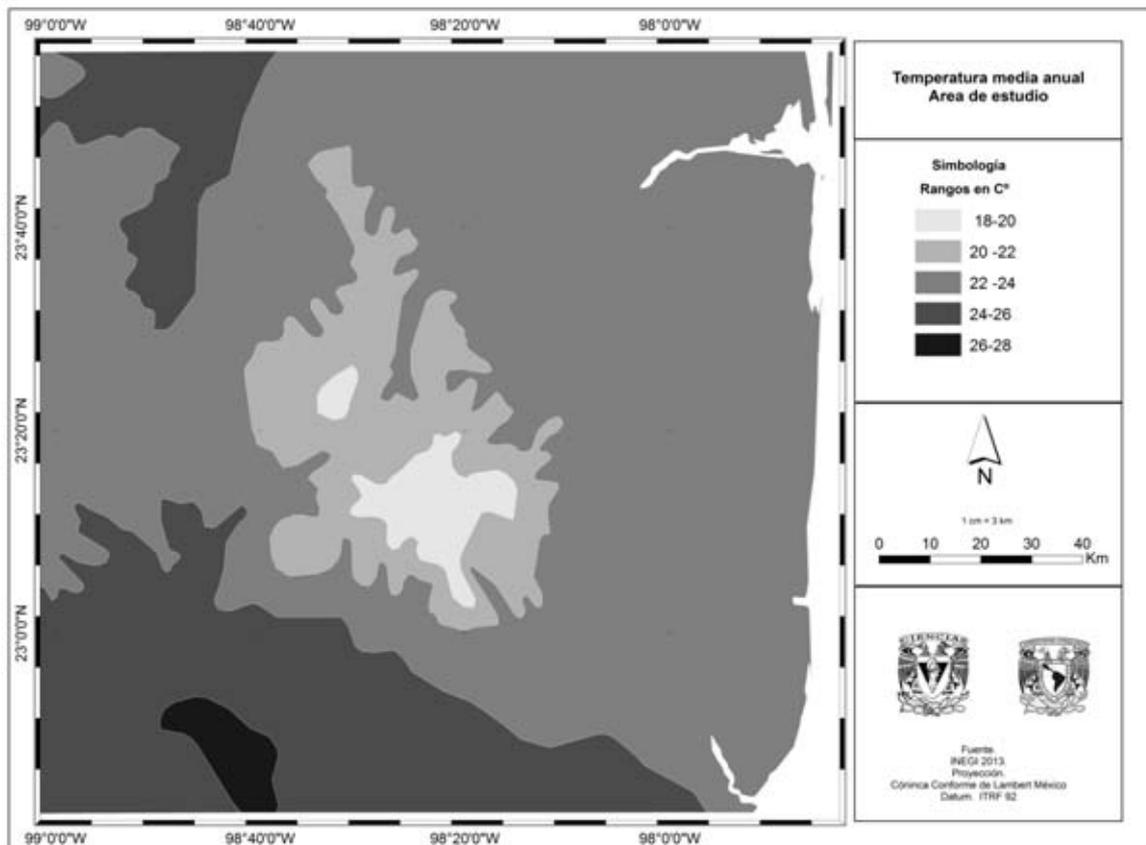
Se localiza principalmente dentro de la región climática Noreste, se caracteriza por la entrada de nortes en invierno, alisios y ciclones tropicales en verano y por presentar régimen de lluvias en verano, (de mayo a octubre), con presencia de canícula; sin embargo, se registra un incremento en las lluvias durante los meses de noviembre a febrero debido a la presencia de nortes (García, 1989).

La lluvia promedio que se registra en el año varía entre 600 a 800mm en la mayor parte de la zona de estudio; aumenta entre 800 a 1200 en dos áreas: en el sureste y en el centro. Se reciben entre 400 a 600mm en una área al sureste (García, 1998a). La temporada seca sucede entre los meses de noviembre a mayo, la temporada de lluvias es de junio a septiembre (CONANP, 2005) (Mapa 3).



Mapa 3. Precipitación promedio anual del área de estudio, donde se muestra el rango de los 800 a los 1200 msnm.

La temperatura media oscila entre 20° y más de 26°C, valores entre 24° y 26°C se localizan en las partes bajas, al sur, y sureste en donde se ubica una pequeña zona en donde se registran valores entre 26° y 28°C; así como en una pequeña área al noroeste. En la mayor parte de la zona de estudio se registran temperaturas entre 22° y 24°C, y conforme se asciende en altitud, se observan temperaturas medias anuales entre 22° y 20°C, aproximadamente a partir de la cota altitudinal de 400 msnm. En las partes más altas se tienen valores inferiores a 20°, alrededor de la curva de nivel de 800 msnm, en donde se pueden observar dos pequeñas áreas sobre la sierra con estos últimos valores. (Mapa 4)

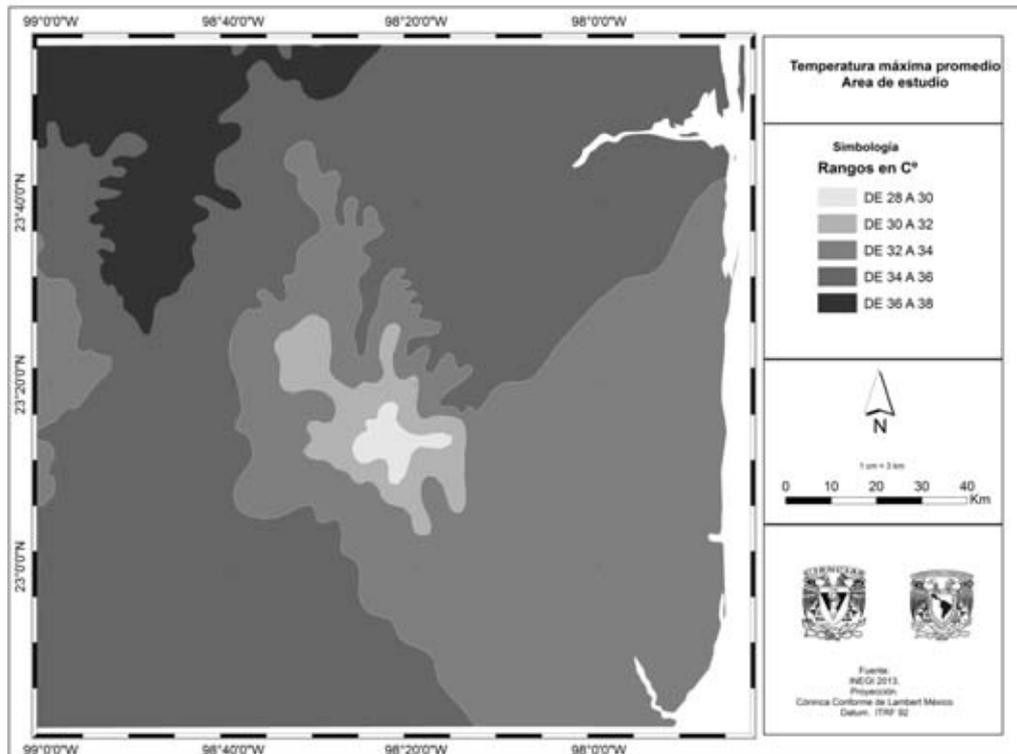


Mapa 4. Temperatura media anual del área de estudio, se muestra la temperatura que oscila entre los 18ª y 28ª C

De acuerdo con García (2004), se tienen tres zonas térmicas, la cálida entre 22° y 26°C que abarca la mayor parte de la zona de estudio y se localiza en las partes bajas, sobre las llanura costera y en la cuenca

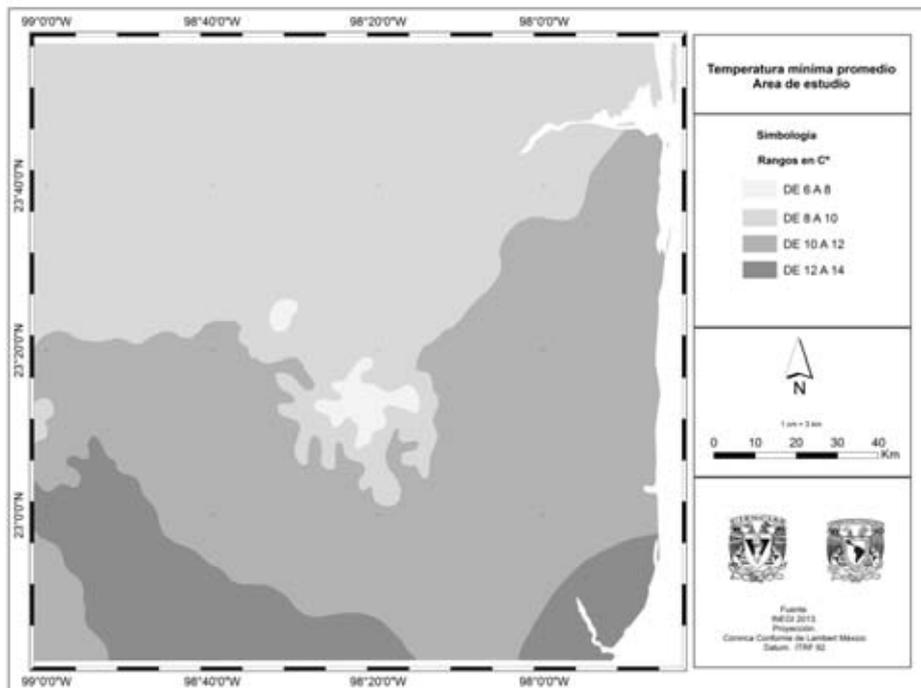
del río Soto la Marina; en el sureste destaca una pequeña área muy cálida, con valores mayores a 26°C. Sobre la sierra alrededor de los 400msnm se localiza la zona de semicálidos entre 18° Y 22°C.

La temperatura máxima promedio anual, registra valores entre 34° y 36°C en el centro, noreste y sur de la zona de estudio principalmente; aumenta a 36° y 38°C al noroeste y este, y disminuye entre 32° a 34°C sobre la llanura costera. Los valores más bajos, entre 28° a 30°C, se registran en las partes más elevadas (García, 1998). Mapa 5



Mapa 5. Temperatura máxima anual del área de estudio, oscila entre los 28ª hasta los 38ªC.

La zona de estudio registra temperaturas mínimas promedio al año, entre 8° a 10°C, aproximadamente en la mitad norte; entre 10° a 12°C hacia el sur y; entre 12° a 14°C al suroeste, sur y sureste (García, 1998d). Mapa 6.



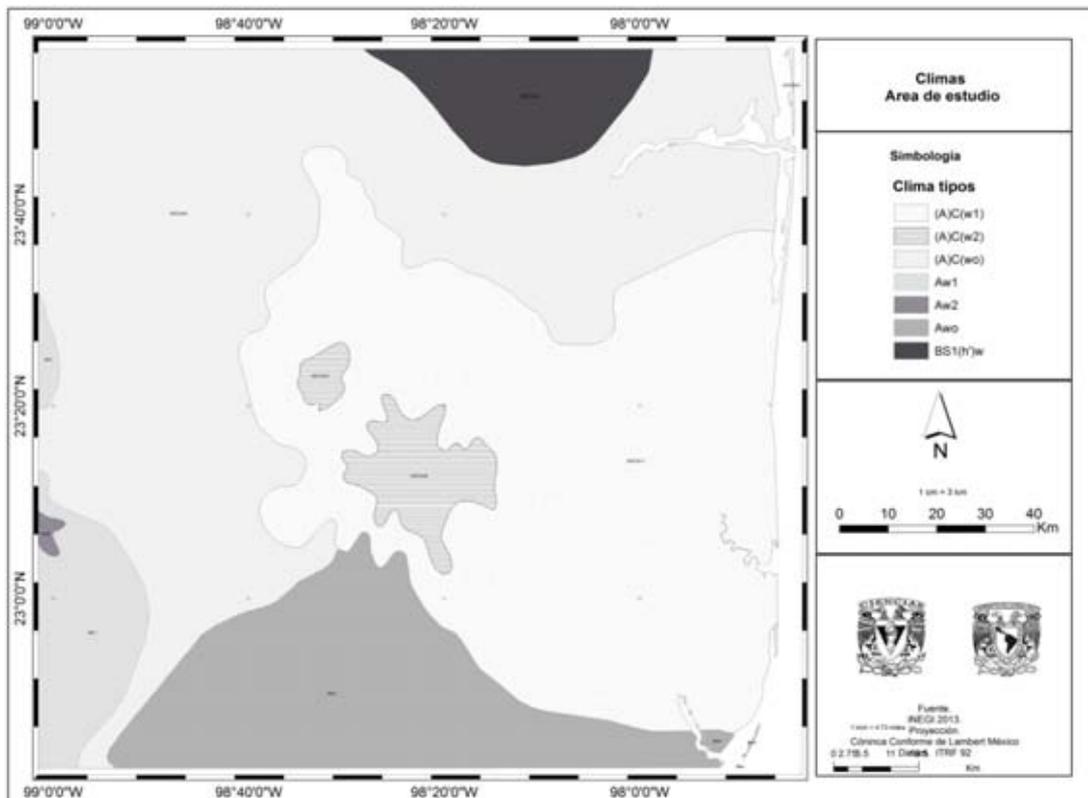
Mapa 6. Temperatura mínima anual del área de estudio, oscila entre los 10ª hasta los 14ªC.

Las temperaturas máximas absolutas son del orden de más de 46° en la parte central y entre 42° y 46°C al oeste y este. Las temperaturas mínimas absolutas tienen valores entre 0° y - 4°C al sur, disminuyen hacia el norte, en donde se registran valores entre -8° y -12°C en el noreste (García y Vidal-Zepeda, 1992a, 1992b).

La oscilación anual de las temperaturas medias mensuales registra valores entre 10° y 12°C, y la de los promedios de temperatura máximas y mínimas está entre 12° y 14°C y mayor a 14°C en el noreste (García y Vidal-Zepeda, 1992c, 1992d).

La zona de estudio presenta en la mayor parte de su superficie climas semicálidos subhúmedos (77.5%) en sus tres variantes: los más secos de los subhúmedos con un P/T (precipitación total anual/temperatura media anual) menor a 43.2, que ocupan el 40.08% del total del área de la zona de interés; los intermedios con un P/T entre 43.2 y 5, abarcan el 34.63% y los más húmedos de los subhúmedos con P/T

mayor a 55, están presentes en el 2.8%. Le siguen los cálidos subhúmedos, presentes en el 18.3%, de la superficie también en sus tres variantes, los más secos, los intermedios y los más húmedos de los subhúmedos, los cuales se registran en la parte sur de la zona de estudio. Al noreste se presenta una pequeña área (4.1%) con clima semiárido cálido (García, 1998e).



Mapa 7.

4.4 Principales fenómenos meteorológicos

En términos generales, los factores que mayor influencia ejercen en la determinación del clima en México son su posición geográfica, la lejanía y cercanía del mar y la naturaleza montañosa del país, que es uno de los factores más importantes.

Por su situación geográfica, México constituye un puente de transición entre los trópicos y los climas de latitudes medias. La mitad sur del país, se encuentra dominada por fenómenos tropicales, mientras que sistemas atmosféricos de latitudes medias predominan en su parte

norte, los cuales durante la época invernal penetran profundamente incluso hasta Centroamérica.

La región de estudio, localizada en el sur-centro del estado de Tamaulipas, se sitúa, astronómicamente dentro de las zonas tropical y subtropical del Hemisferio Norte, ya que el Trópico de Cáncer se localiza en ésta.

La parte norte del país, se ubica dentro de la faja subtropical de alta presión, a lo largo de la cual se encuentran los anticiclones oceánicos del Atlántico del Norte y del Pacífico del Norte.

La Alta Subtropical del Atlántico Norte (Alta Azores), se extiende de este a oeste desde África hasta América del Norte, en donde la estación de lluvias se inicia gradualmente durante la segunda mitad del mes de abril, la cual se continúa hasta el mes de octubre, con variaciones en la cantidad de lluvia que se recibe a lo largo de este periodo. Dando lugar que a finales de junio , con julio y agosto se den situaciones de disminución de la precipitación, fenómeno conocido como sequía relativa, canícula o sequía de medio verano, entre otros nombres asignados.

El otro anticiclón, la alta del Pacífico, cubre gran parte del Pacífico Noreste, el cual durante el invierno, se extiende desde la costa pacífica de Norteamérica hasta los 160° oeste, con su centro cerca de los 30° norte y 140° oeste, es decir sufre un desplazamiento hacia el sur. Esto da lugar a que ahora los vientos del oeste sean los que dominen en el norte del país y en las partes altas de la atmósfera de la porción central del país. Estos vientos, especialmente en las alturas, son considerablemente menos húmedos e imprimen al aire la sequedad característica que predomina en la mayor parte del territorio nacional.

Estos vientos acarrearán embebidas en su corriente, algunas de las perturbaciones propias de las latitudes medias, como vórtices fríos y

depresiones ciclónicas que afectan las condiciones climáticas del norte del país, y, en ocasiones también, las de la Altiplanicie Mexicana, conocidos en forma genérica como "frentes fríos".

Cortez (1998), indica que en el periodo de 1991 a 1995, se presentaron 376 frentes fríos, con una media de 75.2 por año, si bien varía el número por año y por mes. Los meses diciembre, enero, febrero y marzo, es donde se reciben mayor número de frentes, mientras que en junio, julio y agosto estos sistemas están casi ausentes.

El área de estudio es afectada por los denominados "nortes", del golfo de México, son en sí frentes fríos acompañados de fuertes vientos del norte, que soplan violentamente, por varios días seguidos, sobre las costas del Golfo de México, durante la mitad fría del año, que se originan por la invasión de masas de aire polar continental modificado, procedentes del Norte de Estados Unidos y sur de Canadá. Estos vientos, traen consigo humedad recogida a su paso por el Golfo de México y que es liberada en lluvia en territorio nacional (García, 1974).

Los vientos del este (alisios), se originan en el cuadrante sur y oeste de las altas subtropicales y constituyen una rama de la circulación de Hadley. Durante la mitad caliente del año, con el desplazamiento hacia el norte de las altas subtropicales y conforme los vientos del este, se profundizan en la altura y penetran hacia altas latitudes, todo el país queda bajo la influencia de la profunda y amplia corriente del este que se origina desde el Mar Caribe y penetra al Golfo de México con vientos ligeros que se cargan de humedad al atravesar este cuerpo de agua (Mosiño y García, 1974).

Durante el verano y parte del otoño, se originan las tormentas y ciclones tropicales, que afectan al país. Los que pueden afectar a la zona de estudio, son los que se forman en el Mar Caribe y Golfo de México. Estas perturbaciones afectan las condiciones del clima de la vertiente del Golfo de México, debido a que muchas de sus trayectorias corren paralelas a las costas o se internan al territorio nacional.

El estado de Tamaulipas ocupa el tercer lugar en cuanto a frecuencia de entrada de perturbaciones tropicales en el periodo 1921-1999 (Azpra, et al 2001).

4.5 Vegetación

En términos biogeográficos, la sierra de Tamaulipas representa una isla de vegetación neártica con elementos neotropicales, rodeada de llanuras cubiertas de pastizales y matorrales xéricos. Esta situación se ha visto acentuada por fenómenos climáticos como el desecamiento gradual y el calentamiento del clima de la región, ocurrido en los últimos 2000 años (CONANP, 2005).

Con base en la carta digital de vegetación y uso de suelo Serie V del INEGI 2014, la vegetación que domina en la zona de estudio son bosque de Pino-Encino, mezquital, pastizal, vegetación secundaria arbustiva, matorral de diversos tipos y selva baja caducifolia y espinosa. Por la facilidad de su uso digital, el sistema de clasificación de los tipos de vegetación que se utiliza en este trabajo es el del INEGI, el cual ha sido más utilizado en la actualidad por la academia y las instituciones gubernamentales (Challenger y Soberón, 2008).

Los tipos de vegetación utilizados para la realización del presente estudio, son la selva baja caducifolia y los matorrales submontanos. Estas son las comunidades vegetales menos fragmentadas y con

mayor abundancia en la zona. Se distribuyen alrededor de la sierra. (INEGI, 1993).

4.5.1. Selva baja caducifolia.

Este término es acotado por Miranda y Hernández X, mientras que Rzedowski (1994) la denomina bosque tropical caducifolio. Este término incluye a la vegetación de franca afinidad tropical, cuya principal característica consiste en que la mayor parte de los árboles y arbustos pierden sus hojas en la época seca del año durante un lapso variable, pero que por lo general oscila alrededor de seis meses. Estos cambios estacionales a lo largo del año, se reflejan en su comportamiento, es decir se pueden apreciar en forma notoria dos condiciones en la disponibilidad de humedad en dos estaciones bien marcadas: la húmeda, en donde la vegetación luce con profuso verdor, y la seca, en donde las plantas pierden su follaje.

Tanto las selvas bajas caducifolias como las subcaducifolias, están presentes en una superficie relativa de 10.72% a nivel nacional y de 7.6% en el estado de Tamaulipas en 2000 (Palacio, et al, 2000).

El dosel está dominado por una o pocas especies y consta de un sólo estrato arbóreo. La mayoría de los elementos leñosos florecen a mediados o finales de la temporada de secas o a principios de las lluvias, cuando la temperatura alcanza sus valores máximos anuales, ya que numerosas plantas de esta comunidad nunca poseen hojas y flores al mismo tiempo (Rzedowski, 1994). Las leguminosas arbustivas florecen al inicio de la sequía. La producción de frutos y semillas ocurre en la temporada de sequía (CONANP, 2005).

Estas selvas bajas caducifolias se encuentran en todas las laderas de la sierra, que representa la parte central de una extensa cubierta de selvas, y que se extiende al oeste, sureste, sur y noreste de la misma, sobre terrenos de la subprovincia fisiográfica de las Llanuras y

Lomeríos. Precisamente es en esta sierra, donde las selvas de este tipo se encuentran menos perturbadas, lo cual no significa que la influencia humana no sea considerable. (INEGI, 1993). En estas selvas en condiciones de poco disturbio, el estrato superior suele ser denso, y presentan un estrato superior dominante con alturas promedio de 8 metros. (CONANP, 2005).

En México dos de los principales aspectos climatológicos determinantes del área de distribución geográfica es la temperatura, en especial la mínima extrema, que en general no debe ser menor de 0°; el otro es tanto la distribución de la lluvia predominante durante el verano, como la cantidad recibida (Rzedowski, op cit).

4.5.2. Matorral submontano

El matorral submontano es considerado como una variante del matorral xerófilo (Rzedowski, 1994, González, 2004), es una formación arbustiva y subarbórea rica en sus formas de vida. El matorral en su conjunto, es uno de los principales tipos de vegetación del país, cubre alrededor del 28.55% de la superficie del territorio mexicano, se encuentra al noreste de México, distribuido a lo largo de la Sierra Madre Oriental, donde el matorral submontano ocupa aproximadamente 10% de la superficie del estado de Tamaulipas (Palacio, et al, 2000).

Esta comunidad vegetal es de tipo subperennifolio con una combinación de elementos espinosos y no espinosos. A pesar de su relativa homogeneidad fisonómica, el matorral submontano muestra una marcada heterogeneidad en su composición vegetal a través del gradiente latitudinal en el noreste de México (Estrada-Castillón, et al 2012).

En la zona de estudio se localiza en las partes más bajas de la sierra de Tamaulipas, sobre todo en las laderas occidentales y en áreas cercanas a ellas. Elementos de dichos matorrales también se entremezclan en las selvas bajas y forman parte de su composición. Los elementos que lo conforman no presentan espinas y sus alturas varían según el grado de disturbio que tenga. Es común que posea tres estratos bien definidos y uno adicional donde los elementos son únicamente eminencias y sobrepasa al estrato superior en altura como es el caso de algunas yucas. (INEGI, 1993)

5. Metodología

5.1. Zona de estudio

Como ya se mencionó el área de estudio se localiza en la parte sur-centro del estado de Tamaulipas, entre las coordenadas: 22° 42' y 23° 57' latitud norte y 97° 51' y 99° 02' longitud oeste.

Se elaboró la cartografía temática de la zona de estudio, para ello se utilizó la información digital del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI), y de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Toda esta cartografía fue trabajada con el apoyo del sistema de información geográfica ArcGis 10.1.

Las capas utilizadas fueron:

Límite nacional y estatal. Escala 1: 1000 000

Municipios. Escala: 1: 250 000

Curvas de nivel. Escala 1: 250 000

Vegetación y uso del suelo, Serie V. Escala 1: 250 000

Climas, temperatura media, temperatura máxima promedio. Temperatura mínima promedio y precipitación. Escala: 1: 1 000 000.

El área de estudio se delimitó por la importancia climática del sur-centro de Tamaulipas, en donde a pesar de la cercanía con el mar, registra oscilaciones térmicas elevadas y por la presencia de vegetación natural no muy perturbada.

De la carta de uso del suelo y vegetación, se consideraron los polígonos con selva baja caducifolia y matorral submontano, principalmente en el área de la sierra de Tamaulipas, por ser las comunidades menos perturbadas (CONANP, 2005).

Los tipos de vegetación fueron seleccionados además, en el caso de la selva baja caducifolia, por responder a la disponibilidad de humedad, en dos estaciones del año: la húmeda en donde la vegetación adquiere un exuberante verdor y la seca en donde la vegetación pierde su follaje. En cuanto al matorral submontano por ser subperennifolio, y por tanto, también responde a los cambios de humedad, pero en el época de secas, conserva parte de su follaje

5.2 Datos climáticos

Del banco nacional de datos climatológicos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), se obtuvieron las estaciones climatológicas convencionales del estado de Tamaulipas, y se consideraron aquellas que se localizan en la zona de estudio. Mapa 2.

Los datos que se tomaron de estas estaciones fueron: la temperatura máxima, mínima, precipitación y evaporación diarias, los cuales fueron procesados para obtener valores mensuales y promedios de todo el periodo.

Es importante mencionar que los datos fueron sujetos a las siguientes condicionantes:

Que tuvieran más de 30 años y que cubrieran el periodo de 1996 a 2012. Se eliminaban aquellos meses y años que no tuvieran el 80% de datos diarios y 40% de meses, respectivamente.

Se calculó la evapotranspiración potencial usando el método de Thornthwaite III. (Estrada Berg et al, 2008).

También se calculó el Índice de Lang que es el cociente Precipitación/temperatura a nivel mensual.

Se calculó el Índice de Lang, para analizar las condiciones de humedad de la zona de trabajo, para lo cual se calculó éste para cada mes. Otra de las razones fue debido a la alta variabilidad de la lluvia y temperaturas altas en la zona de estudio, ya que los valores de este índice pueden mostrar la disponibilidad del agua en relación con la temperatura del área de estudio.

5.3 Ciclones tropicales

Con base en la información del archivo de datos de trayectorias de ciclones de la página de Unisys Weather, se contabilizaron los huracanes en sus diferentes fases que llegaron o pasaron por la zona de estudio, considerando un radio de 300 kilómetros.

<http://www.weather.unisys.com/>

Imágenes NOAA-AVHRR.

Las imágenes satelitales fueron obtenidas de dos fuentes:

El banco de imágenes del Laboratorio de Análisis Geoespacial (LAGE) del Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). En donde se tiene una antena receptora de estas imágenes, proporcionada por la corporación SeaSpace. La cual tiene el programa Terascan, mediante el cual se hace la corrección geométrica y proyección de las imágenes, así como la obtención del

índice de vegetación y la eliminación de productos intermedios. La información se tiene a partir de enero de 1996 a la fecha.

La otra fuente es el portal digital de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), con dirección electrónica http://www.nsof.class.noaa.gov/saa/products/search?datatype_family=AVHRR. Con la finalidad de completar el periodo que abarca desde 1 de Enero de 1996 hasta el 31 de Diciembre del 2012.

Las imágenes de la NOAA, obtenidas de diferentes plataformas y sensores, se importaron al sistema operativo de Terascan, mediante un archivo el cual contenía las indicaciones de los diferentes sensores y plataformas para transformarlas a un formato de registro único (script). En esta etapa el archivo por el cual se importan las imágenes a procesar inicia dos procesos alternos mediante el cual se hace la corrección geométrica y proyección, el último paso es la obtención del índice de vegetación y la eliminación de productos intermedios. Con las imágenes diarias obtenidas se hicieron compuestos por mes.

5.4 Obtención del NDVI y correlaciones

Se elaboraron máscaras correspondientes a los polígonos que contenían selva baja caducifolia (SBC) y matorral submontano (MS) con el programa ENVI 4.2 para extraer los valores de NDVI de las imágenes satelitales NOAA NDVI-AVHRR de cada uno de los compuestos mensuales.

Con los datos meteorológicos y valores NDVI de la zona de estudio se realizaron correlaciones estadísticas usando el programa SPSS 17.0 para obtener una relación entre las variables meteorológicas y los estadios de la vegetación a lo largo del año.

Como la respuesta de la vegetación no es inmediata a la presencia de la lluvia, (Iglesias, et al 2010, Lomas, 1998, Serrano et al 2005) se desfasaron uno y dos meses las variables climáticas con respecto a los valores del índice de vegetación y se realizaron correlaciones estadísticas.

Se hicieron gráficas para mostrar el comportamiento tanto de las variables climáticas empleadas, como del índice de vegetación en el año.

6. Resultados

Como ya se mencionó las estaciones climatológicas fueron seleccionadas a partir de la aplicación de los siguientes filtros:

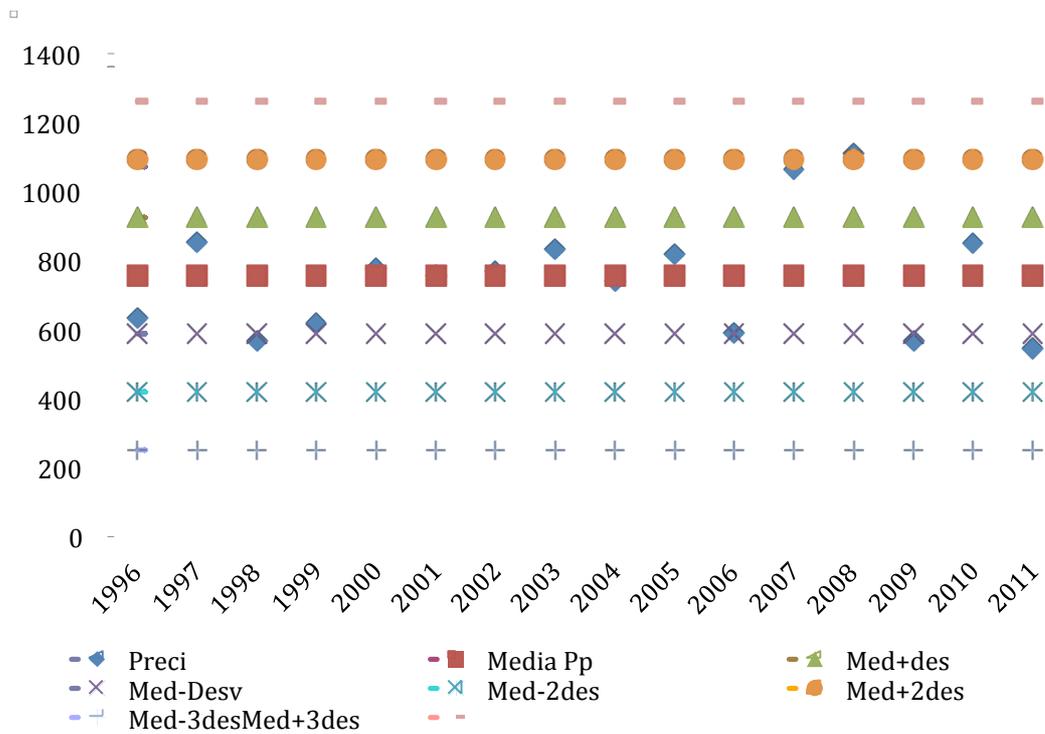
Contará con más de 30 años de información e incluyera el periodo de años analizados de 1996 a 2012. Además que tuvieran cada uno de los meses el 80% de datos diarios y los años, más del 40% de meses. Con base en este análisis se trabajaron al final con un total de 46 estaciones, las cuales contaron en promedio 60 años de información. Se decidió eliminar el año de 2012, ya que la mayoría de las estaciones no contaban con datos en este año, por lo que la información climatológica sólo comprendió de 1996 a 2011.

En el mapa 2 se muestra las curvas de nivel cada 200 msnm; en donde también se puede apreciar la distribución espacial de la Selva baja caducifolia (SBC) y Matorral submontano (MS), como se observa la primera se localiza entre los 0 m y 800 msnm y el segundo aproximadamente entre 0 m y 400 msnm.

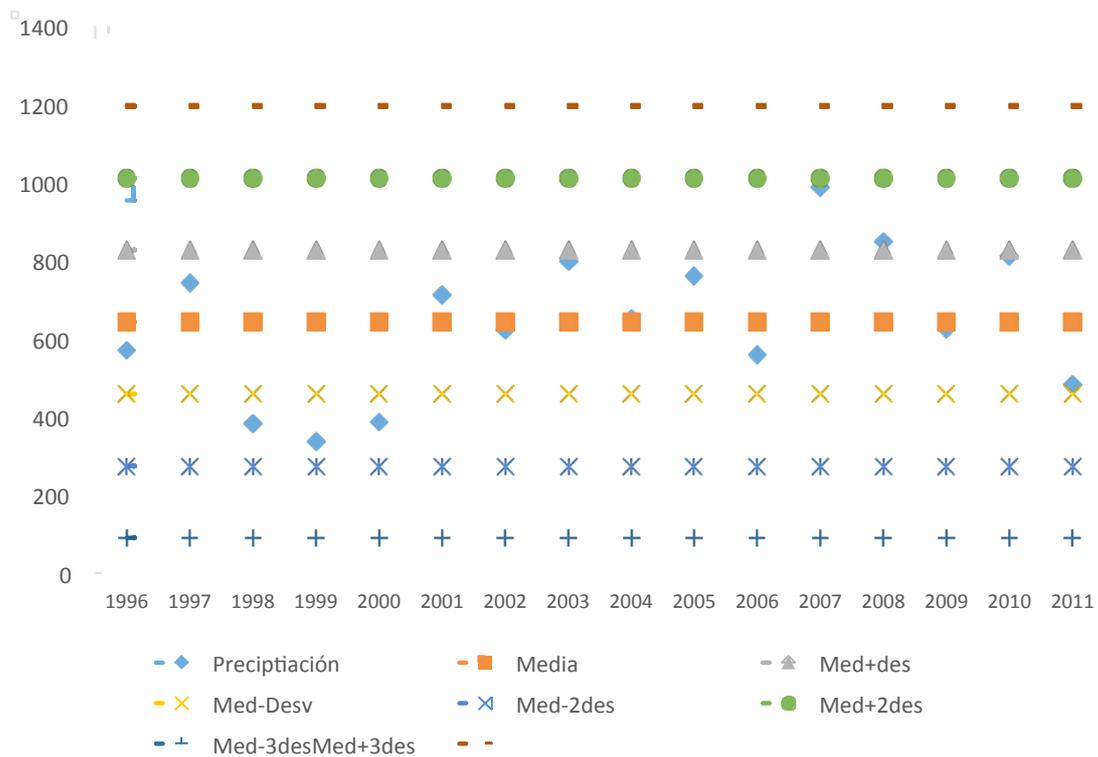
Del análisis de la información del archivo de huracanes de la página de Unisys Weather, se obtuvo que en el periodo de 1996 a 2012, se presentaron un total de 21 perturbaciones tropicales, de las cuales fueron cuatro depresiones, trece tormentas; dos huracanes categoría 1; uno de categoría 2, datos que se muestran en la Tabla 1. Como se observa en el año 2010 se presentaron 4 perturbaciones tropicales, éstas no aportaron mucha humedad, la precipitación de ese año, estuvo dentro de las condiciones que se consideran como normales, En las gráficas gráfica 1 y 2, se determinó el grado de humedad con respecto a la desviación estándar tanto para la SBC y MS respectivamente (Hernández and Garza, 2010).

Año	Nombre	Fecha	Categoría	Año	Nombre	Fecha	Categoría
1996	Dolly	19 - 23 oct	Tormenta	2007	Lorenzo	25- 28 Sep	Huracán
	Josephine	04 - 08 Oct	Depresión		2008	Dolly	20 - 25 Jul
1998	Frances	08 - 12 Sept	Tormenta	2010		Karl	14 -18 Sept
	Earl	31 Ago - 03 Sept	Tormenta		Herminie	08 -09 Sep	Tormenta
1999	Seven	05 - 07 Sept	Depresión	2011	Two	08 -09 Julio	Tormenta
2000	Ketih	26 Sep - 06 Oct	Hur 2		Alex	25 jun - 02 jul	Tormenta
	Berly	13 - 15 Ago	Tormenta	Nate	07 - 11 Sep	Tormenta	
2003	Erika	14 - 17 Ago	Tormenta	Harvey	19 - 22 Ago	Depresión	
2005	Gert	23 - 25 Jul	Tormenta	Arlene	29 - 01 Jul	Tormenta	
	Emyli	11 - 21 Julio	Tormenta				
	Bret	28 - 30 Junio	Depresión				

Tabla 1. Huracanes registrados en la zona de estudio, weather Unisys.



Grafica 1. Grado de humedad respecto a tres desviaciones estándar, para la selva baja caducifolia.



Gráfica 2. Grado de humedad respecto a tres desviaciones estándar, para el matorral submontano

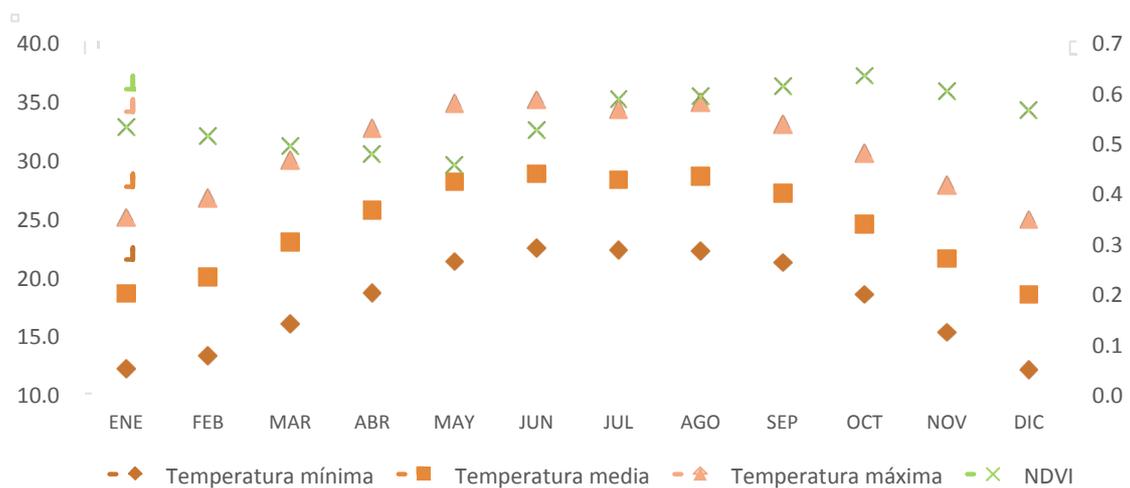
En el 2008, año considerado muy húmedo (1110.7 mm), en la zona de SBC, sólo se presentó una perturbación de nivel Huracán categoría 1, con el nombre de Dolly, que se registró en el mes de julio, mes más húmedo de este año, con el 33.8% de lluvia respecto al total anual. Julio no siempre resulta el más húmedo, el porcentaje de lluvia que se recibe en este mes, en promedio es del 18%.

En la zona de MS, el año en que se recibió mayor lluvia, (987.9 mm), fue el 2007, sin embargo tanto este año como el de 2008 resultaron húmedos. Esto se puede atribuir que el contenido de humedad que pueden aportar estas perturbaciones, depende mucho de su trayectoria y sus propias características.

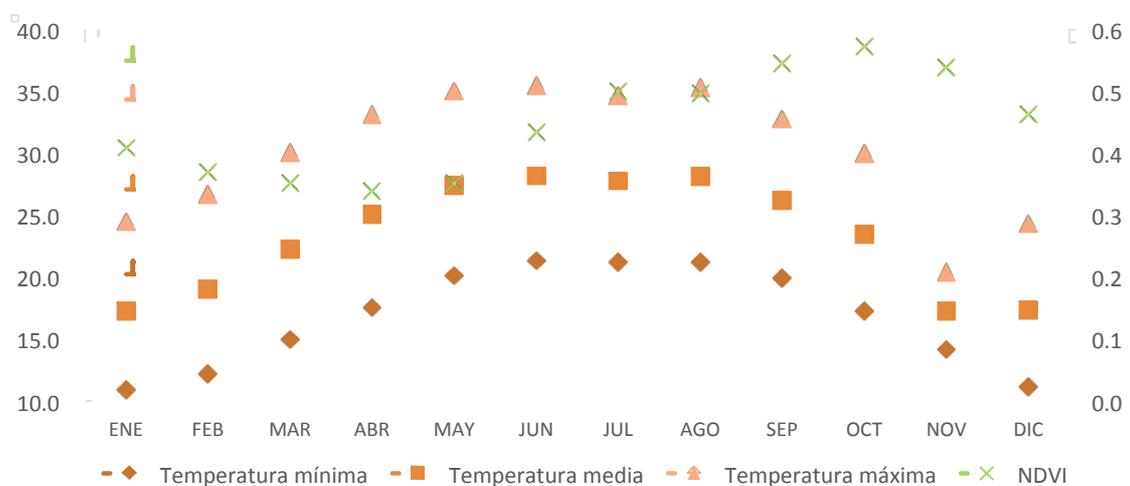
En las gráficas 3 y 4, en donde se muestra el comportamiento de la temperatura en sus tres variantes (máxima, media y mínima), a lo largo del año así como el NDVI de las dos cubiertas de vegetación

analizadas, se puede observar la presencia de dos máximos en las gráficas de temperatura media y máxima, lo que implica que el Sol pasa por el cenit dos veces al año, característico de una zona tropical, es importante recordar que el Trópico de Cáncer pasa por la zona de estudio.

En cuanto a los valores, se puede observar que en general los correspondientes a la temperatura mínima y media, en la SBC son menores en un grado aproximadamente, respecto a los registrados en la zona ocupada por el MS, debido a que la primera se localiza en un rango altitudinal más amplio que el MS; se localizan manchones sobre la subprovincia de Llanuras y Lomeríos, es decir entre 0 m y 200 msnm.



Gráfica 3. Temperatura mínima, media y máxima para la selva baja caducifolia.



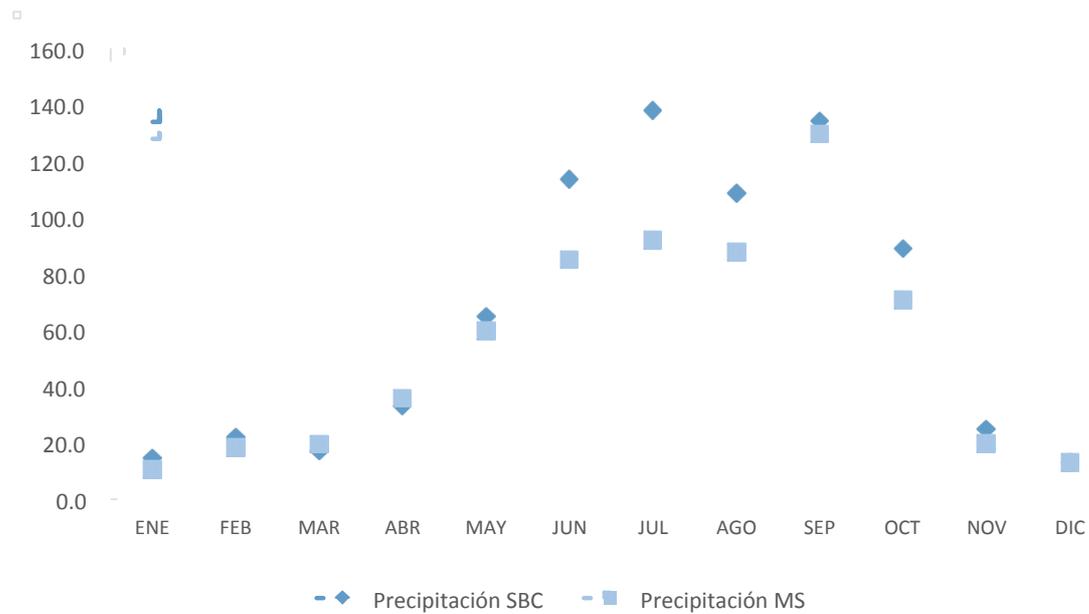
Gráfica 4. Temperatura mínima, media y máxima, para el matorral submontano

En cuanto al comportamiento del índice de vegetación de las dos cubiertas de vegetación analizadas, se puede decir en forma general, que cuando se registra el primer máximo térmico, coincide con un descenso del NDVI. Cuando se presenta el segundo máximo de las temperaturas, es cuando se tienen los valores más altos de NDVI. El valor más bajo del índice de vegetación de la SBC se registra en el mes de mayo en cambio en el MS, es en abril. Los valores más altos para las dos cubiertas, se registran en el mes de octubre.

En la gráfica 5, se muestra el comportamiento de las precipitaciones de las áreas ocupadas por la SBC y MS, donde se observa que la zona se caracteriza por tener régimen de lluvias de verano, concentrada principalmente entre mayo y octubre, se ha indicado que la temporada de lluvias es de junio a septiembre y la de secas de noviembre a mayo (CONANP, 2005); sin embargo el análisis que se hizo de los datos se obtuvo que el 84.4 % (SBC) y el 81.8% (MS), se recibe entre los meses de mayo a octubre. En cambio en la mitad fría del año, se registra el 15.6% (SBC) y 18.2% (MS).

La cantidad de lluvia promedio que se recibe al año en la zona de SBC, (773.1mm), es mayor que la del área de MS (642.1mm), esto se puede deber a que el matorral submontano se localiza en la ladera oeste y noroeste de la sierra de Tamaulipas, lo que impide la llegada de mayor humedad procedente del Golfo de México.

En la misma gráfica también se puede apreciar la presencia de la sequía de "medio verano", conocida también como "canícula"; se presenta en el mes de agosto, es más evidente en la zona de SBC, que en la del MS.

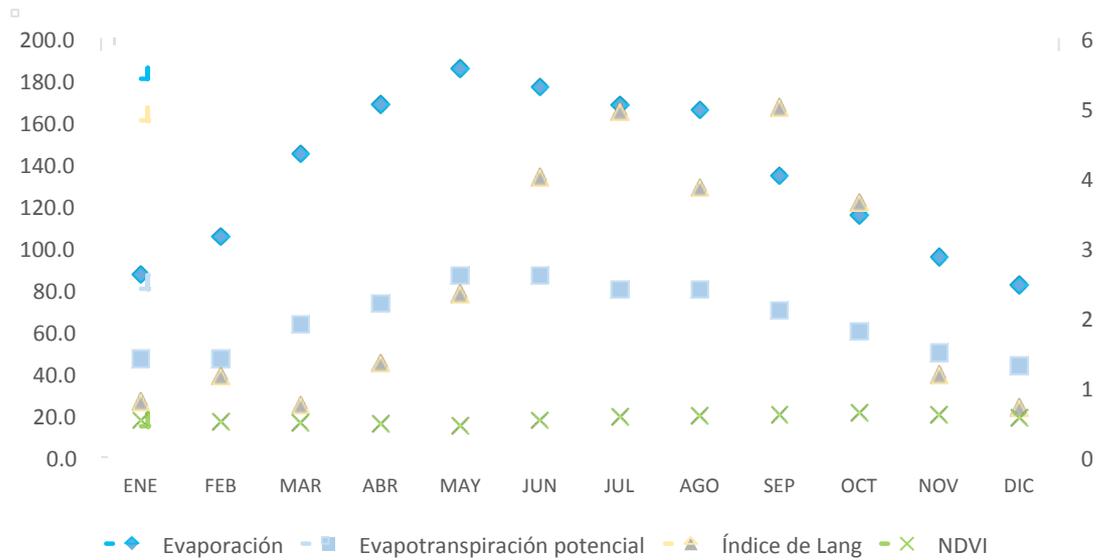


Gráfica 5. Precipitación de la selva baja caducifolia y matorral submontano.

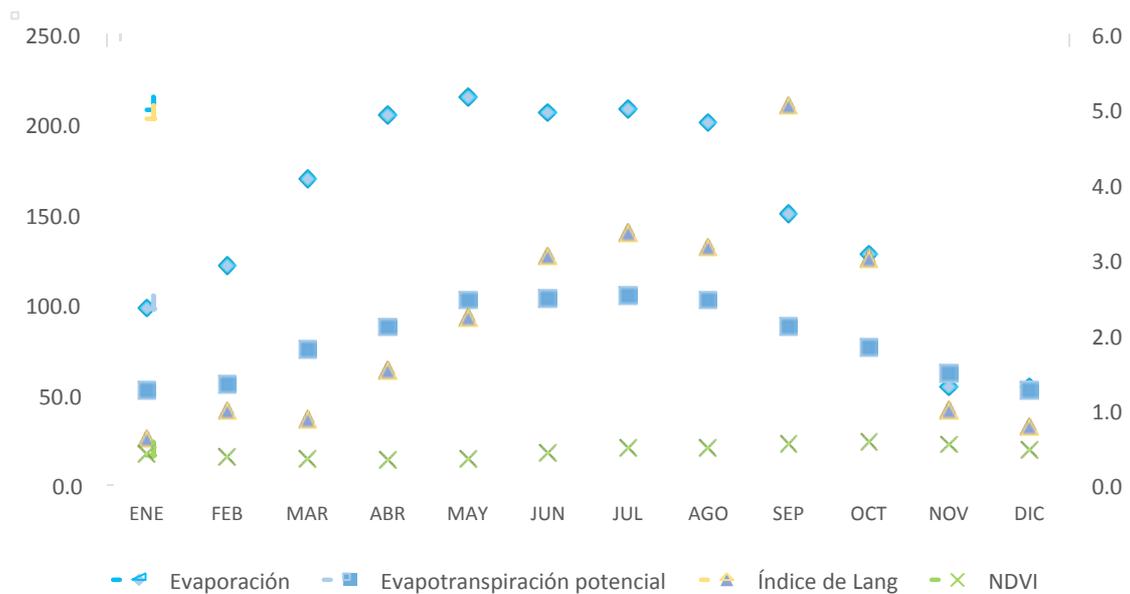
El porcentaje de lluvia invernal (García, 2004) es de 7.3% (SBC) y de 6.8% (MS), lo que implica que las lluvias que se reciben en los meses invernales, no son poco significativas son muy altas.

En las gráficas 6 y 7 se muestra el comportamiento de la evaporación, evapotranspiración potencial, índice de Lang, y NDVI a través del año. Se puede observar que los valores más altos de evaporación coinciden con los máximos de la temperatura máxima, y la evaporación comienza a descender con la presencia de la lluvia, es decir por la presencia de la nubosidad característica de los meses de verano.

En cuanto al comportamiento de la evapotranspiración ETP, se observa que es muy semejante en las dos zonas (SBC y MS), se nota un aumento a partir del mes de marzo; de mayo a septiembre la humedad en el suelo es mayor, ya que coincide con la presencia de las lluvias en estos meses.



Gráfica 6. Comportamiento de la evaporación, precipitación, evapotranspiración potencial, Índice de Lang en el matorral submontano



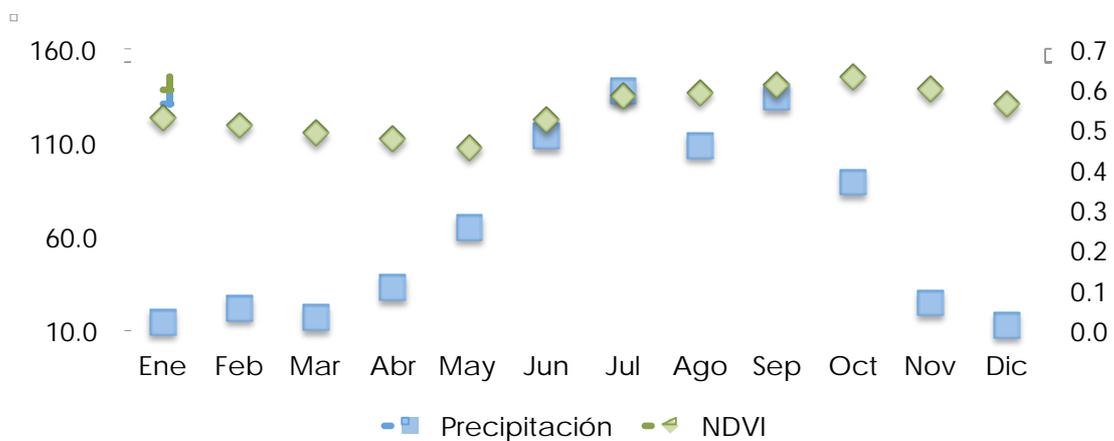
Gráfica 7. Comportamiento de la evaporación, evapotranspiración potencial, Índice de Lang en el matorral submontano.

El P/T sigue el comportamiento de la lluvia, se inicia con valores bajos, y aumenta en la temporada de lluvias, de mayo a octubre, en donde registra un descenso que coincide con la presencia de la canícula.

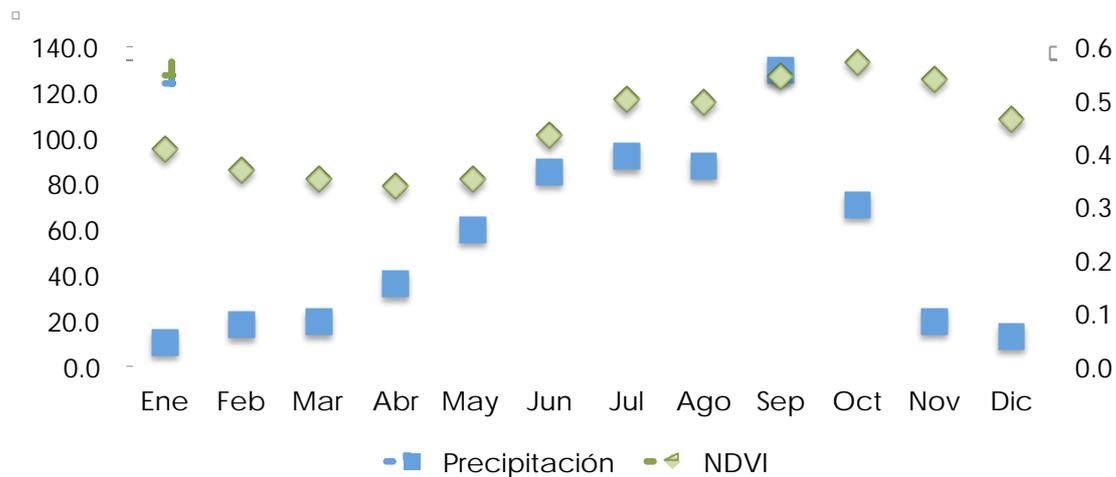
La gráfica del NDVI muestra que cuando se tiene el máximo de evaporación y evapotranspiración se registra el valor más bajo (mes

de mayo) del NDVI de la SBC; en el caso del MS hay un mes de diferencia, es decir, en mayo se presentan los máximos de evaporación y ETP y el mínimo de NDVI se registra en abril. No sucede lo mismo con el P/T, en donde se observa que hay una relación directa, a medida que aumenta este cociente, el índice de vegetación también, tanto en la SBC como en el MS.

En las gráficas 8 y 9 se puede observar el comportamiento del NDVI y de la precipitación promedio de los 17 años, de las dos cubiertas de vegetación analizadas. Las dos gráficas de NDVI, tienen aproximadamente el mismo comportamiento, la diferencia está en los valores, son menores en el MS, el promedio anual del NDVI de la SBC es de 0.55 y el del MS es de 0.45. Como se muestra en las dos gráficas, los valores del índice, responden a la presencia de la lluvia, es decir la lluvia inicia en el mes de abril y el máximo principal para el caso de la SBC es en el mes de julio; en seguida se presenta la canícula que coincide con un aumento muy ligero del NDVI y el máximo secundario de la lluvia que es en septiembre, da lugar al máximo valor del NDVI del año, que se presenta en el mes de octubre. Esto mismo se presenta en el MS, si bien el máximo principal de la lluvia es en el mes de septiembre y el secundario en julio. La canícula coincide con un mayor descenso del índice de vegetación.



Gráfica 8. Comportamiento de la precipitación y NDVI, selva baja caducifolia



Grafica 9. Comportamiento de la precipitación y NDVI, matorral submontano

En las tablas 2 y 3, se muestran las correlaciones efectuadas entre los valores promedios obtenidos del NDVI para las dos cubiertas de vegetación y las diferentes variables analizadas, se señalan en gris las correlaciones que fueron significativas, es decir con un nivel de $p > 0.005$.

Las columnas A y B, corresponden a correlaciones con un mes y dos meses de desfase o retroceso respectivamente.

En el caso de la SBC, se puede observar que esta vegetación comienza responder después de un mes ante la presencia de la lluvia, y ante la humedad (P/T) de la atmósfera. Y después de dos meses las correlaciones fueron altas y significativas con las temperaturas mínimas, medias y máximas así como con la ETP; sólo con la evaporación no se obtuvieron correlaciones.

Se obtuvieron correlaciones altas y significativas entre el NDVI del MS con las diferentes variables climáticas, en este caso la respuesta es más inmediata, ya que con el desfase de un mes se obtuvieron correlaciones altas con la temperatura mínima y la media, en el caso de la primera, la vegetación respondió de inmediato. Con la precipitación se tarda un mes en responder esta cubierta de

vegetación, al igual que con el P/T. Con la temperatura máxima, el MS tarda en responder hasta dos meses al igual que con la ETP.

Como se pueden observar en estas dos tablas, no se obtuvieron correlaciones significativas entre los valores del NDVI de las dos cubiertas de vegetación y las diferentes variables, para los dos periodos utilizados, esto se pudo atribuir a que sólo se consideraron seis y no 12 meses y por tanto "n" resulta muy pequeña. Esto se quiso hacer para ver el comportamiento del NDVI en la mitad más húmeda del año de mayo a octubre y la más seca de noviembre a abril.

En el caso del MS, se observa que esta vegetación responde casi en forma inmediata a la temperatura mínima, esto se puede atribuir que el MS, se encuentra más restringido a una determinada cota altitudinal es decir se localiza entre 0 m y 400 msnm, y que ocupa principalmente la cuenca del río Soto La Marina, por lo que dispone de mayor humedad en el suelo, respecto al resto de la zona. También es importante recordar que esta vegetación es supperennifolia, es decir no todos los elementos que conforman esta cubierta de vegetación pierden sus hojas en la temporada seca.

En el caso de las correlaciones obtenidas con las oscilaciones térmicas, tablas 2 y 3 sólo se obtuvieron con la oscilación térmica extrema, es decir la que se obtiene a partir de la diferencia entre la temperatura máxima y mínima promedio, en donde se observa que las correlaciones resultaron significativas y negativas, es decir esta variable climatológica se comporta inversamente proporcional, respecto al NDVI. Los valores son más altos en el caso de la SBC que en el matorral, es decir que la primera es más sensible a los cambios térmicos. Como ya se mencionó, la zona de estudio, resulta muy interesante desde el punto de vista climatológico, ya que a pesar de estar casi al nivel mar y a la cercanía del mismo, se tienen oscilaciones

muy altas. Esto se debe a que durante el invierno se ve afectada por la entrada de frentes fríos, que dan lugar a descensos térmicos muy marcados, no acorde con la altitud y cercanía al mar.

	Anual	A	B	May - Oct	May - Oct A	May - Oct B	Nov - Abr	Nov - Abr A	Nov - Abr B
Temp. mínima	0.098	0.556	0.855	-0.402	0.810	0.541	-0.449	0.574	0.749
Temp. media	0.015	0.481	0.816	-0.559	0.711	0.604	-0.517	0.531	0.755
Temp. máxima	-0.066	0.404	0.770	-0.668	0.609	0.640	-0.569	0.491	0.760
Precipitación	0.442	0.815	0.900	0.553	0.723	-0.140	-0.258	0.725	0.258
Evaporación	-0.221	0.291	0.706	-0.816	0.376	0.677	-0.691	0.428	0.774
Evap. potencial	-0.377	0.095	0.563	-0.831	0.334	0.717	-0.762	0.330	0.752
Índice de Lang	0.331	0.731	0.870	0.360	0.525	0.184	-0.437	0.621	0.570

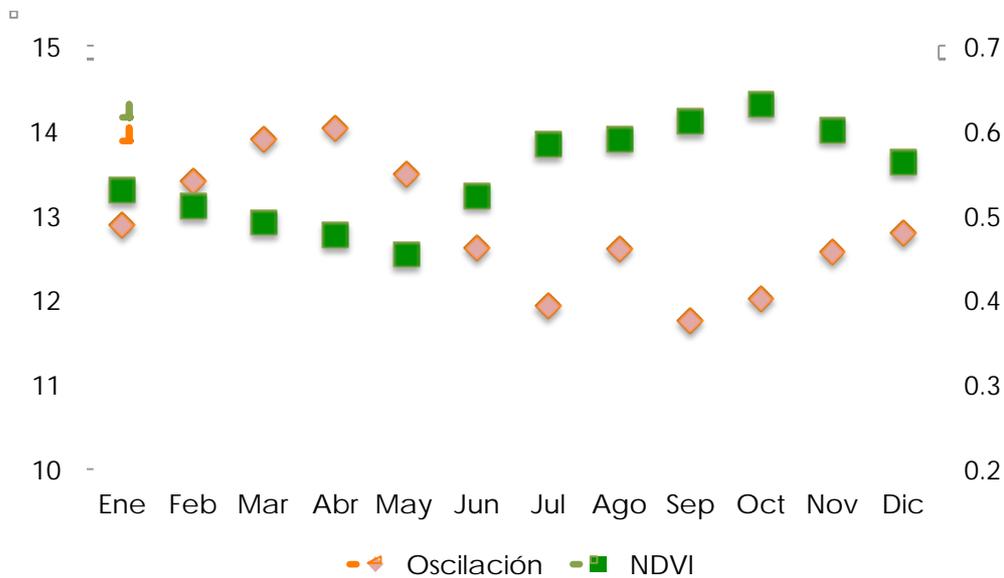
Tabla 2. Valores de correlación del NDVI con las diferentes variables climáticas, temperatura mínima, temperatura media, temperatura máxima, precipitación, evaporación, evapotranspiración potencial, e índice de Lang, en la selva baja caducifolia, las celdas coloreadas tiene $p < 0.05$.

	Anual	A	B	May - Oct	May - Oct A	May - Oct B	Nov - Abr	Nov - Abr A	Nov - Abr B
Temp. mínima	0.663	0.926	0.938	0.810	0.589	-0.026	0.618	0.175	-0.390
Temp. Media	0.111	0.589	0.894	0.711	0.662	0.632	-0.465	0.093	-0.084
Temp. máxima	-0.005	0.492	0.844	-0.708	0.559	0.669	-0.561	0.061	-0.045
Precipitación	0.499	0.854	0.912	0.509	0.777	-0.520	-0.413	-0.207	-0.148
Evaporación	0.038	0.524	0.872	-0.685	0.480	0.740	-0.530	0.115	-0.180
Evap pototencial	-0.272	0.208	0.659	-0.786	0.320	0.772	-0.692	0.020	0.030
Índice de Lang	0.547	0.870	0.890	0.626	0.656	-0.622	-0.296	-0.315	-0.152

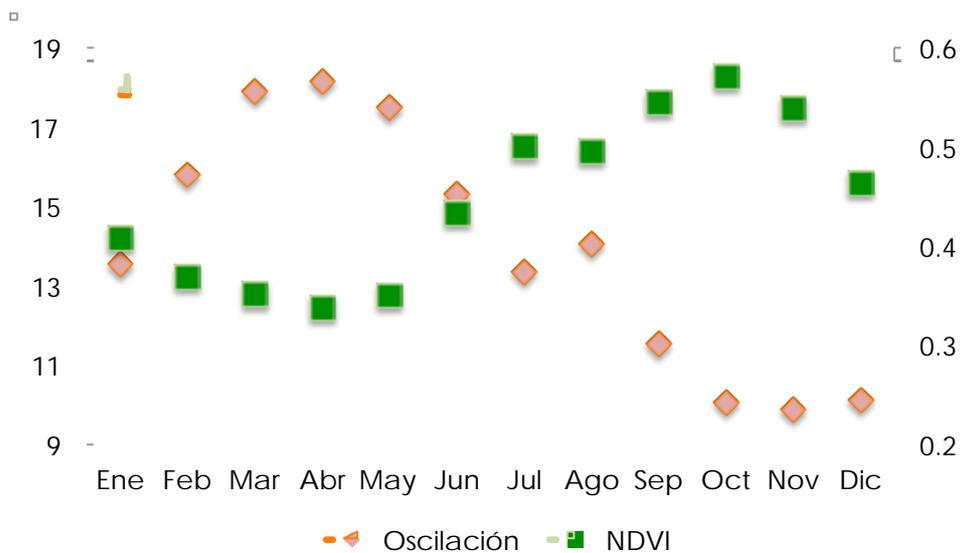
Tabla 3. Valores de correlación del NDVI con las diferentes variables climáticas, temperatura mínima, temperatura media, temperatura máxima, precipitación, evaporación, evapotranspiración potencial, e índice de Lang, en el matorral submontano, las celdas coloreadas tiene $p < 0.05$.

En las gráficas 10 y 11, se muestra el comportamiento promedio a través del año, de la oscilación térmica, la precipitación y el NDVI para la SBC y el MS respectivamente. Como es de esperarse sigue el comportamiento de las temperaturas previamente analizadas, es decir, cuando la oscilación térmica aumenta al principio del año,

coincide con la disminución del NDVI. En el caso de la SBC, se hace más evidente la disminución de la oscilación en la temporada de lluvias y un ligero aumento cuando se presenta la canícula. Esto mismo también se presenta en el caso del MS, pero son más notorios los cambios.



Grafica 10. Comportamiento de la oscilación térmica y NDVI en la SBC a lo largo del año.



Grafica 11. Comportamiento de la oscilación térmica y NDVI en la MS a lo largo del año.

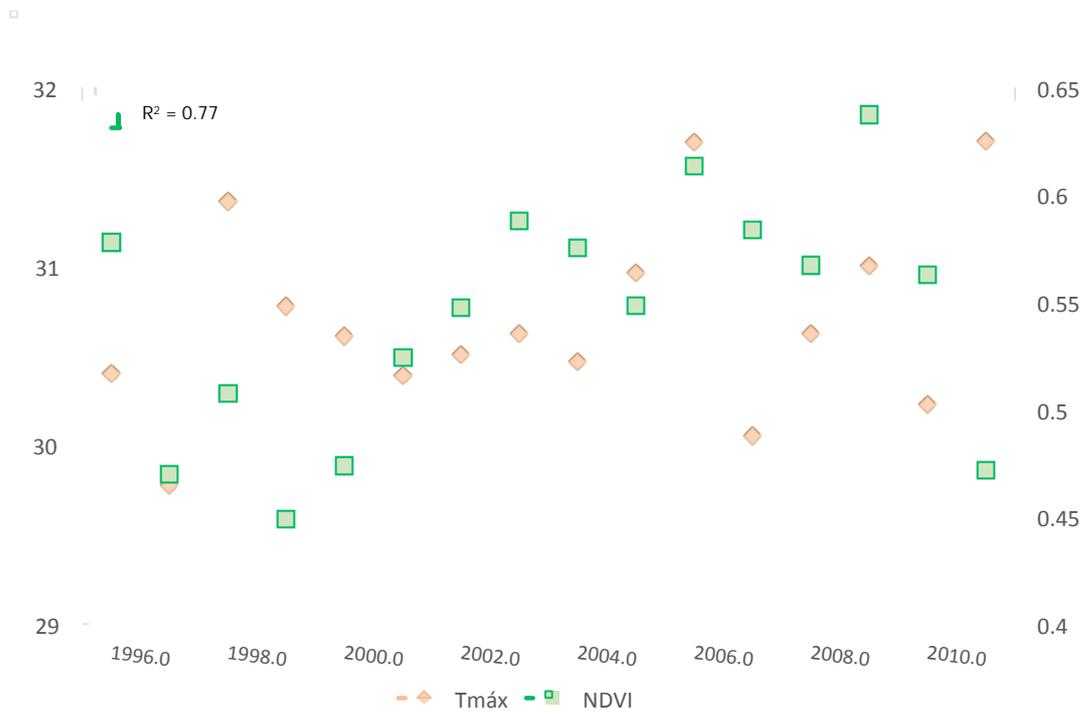
En las gráficas 12, 13, 14 y 15, se analiza el comportamiento que ha tenido el NDVI de la SBC y el MS con las temperaturas máxima y mínima para cada uno de los años analizados, en donde se puede observar que el comportamiento del NDVI con la temperatura es directamente proporcional en forma general, es decir cuando aumenta la temperatura ya sea máxima como mínima el NDVI aumenta también. Lo contrario sucede con los valores de NDVI del MS, en donde se observa que aproximadamente cuando descienden las condiciones térmicas, el índice de vegetación aumenta a nivel anual.



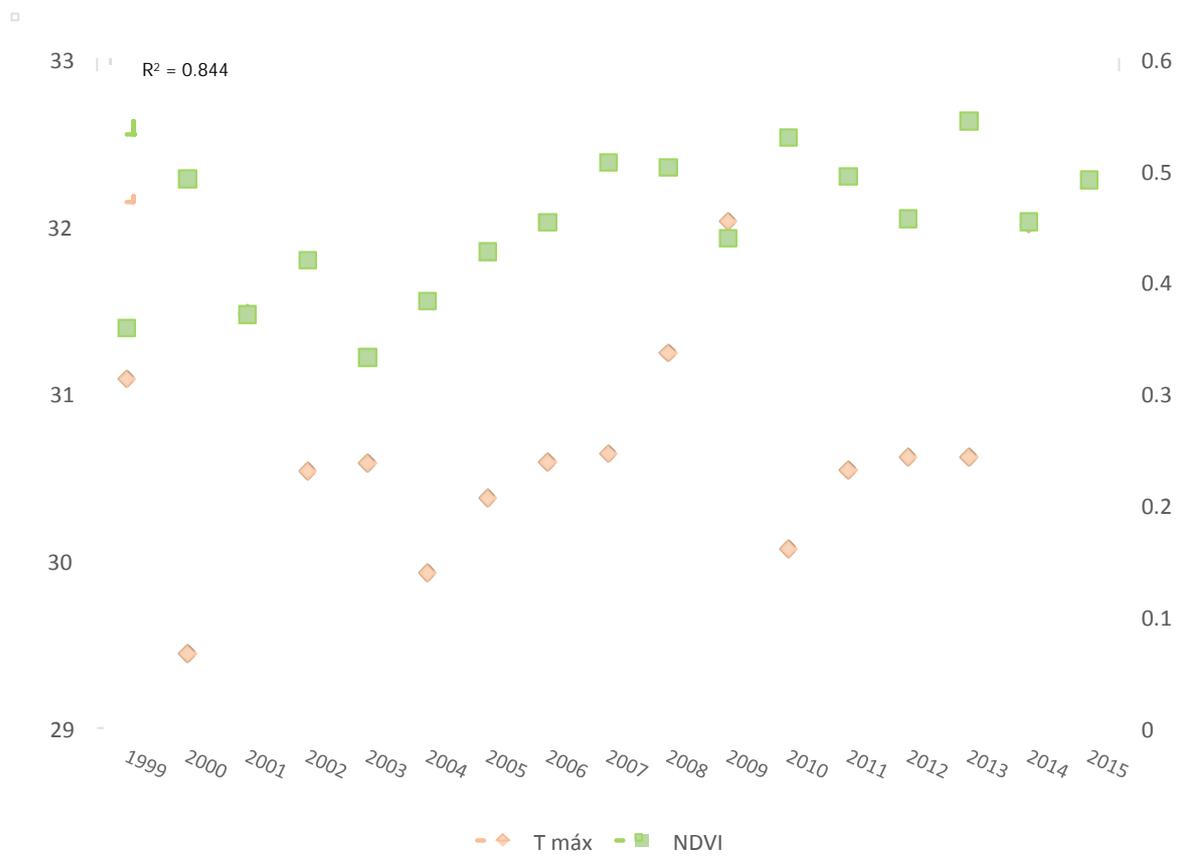
Grafica 12. Temperatura mínima y NDVI, selva baja caducifolia



Grafica 13. Temperatura mínima y NDVI, matorral subalpino



Gráfica 14. Temperatura máxima y NDVI, selva baja caducifolia.



Gráfica 15. Temperatura máxima y NDVI, matorral submontano.

En relación al NDVI a nivel anual, se observó que el año en donde se registraron los valores más altos del periodo analizado fue 2010 y 2000 en donde se presentaron los más bajos para las dos cubiertas de vegetación estudiadas. Se seleccionaron los compuestos de los meses de septiembre de 2010 y marzo de 2000 para ejemplificar el comportamiento del NDVI en la época húmeda y seca respectivamente (figuras 1 y 2).

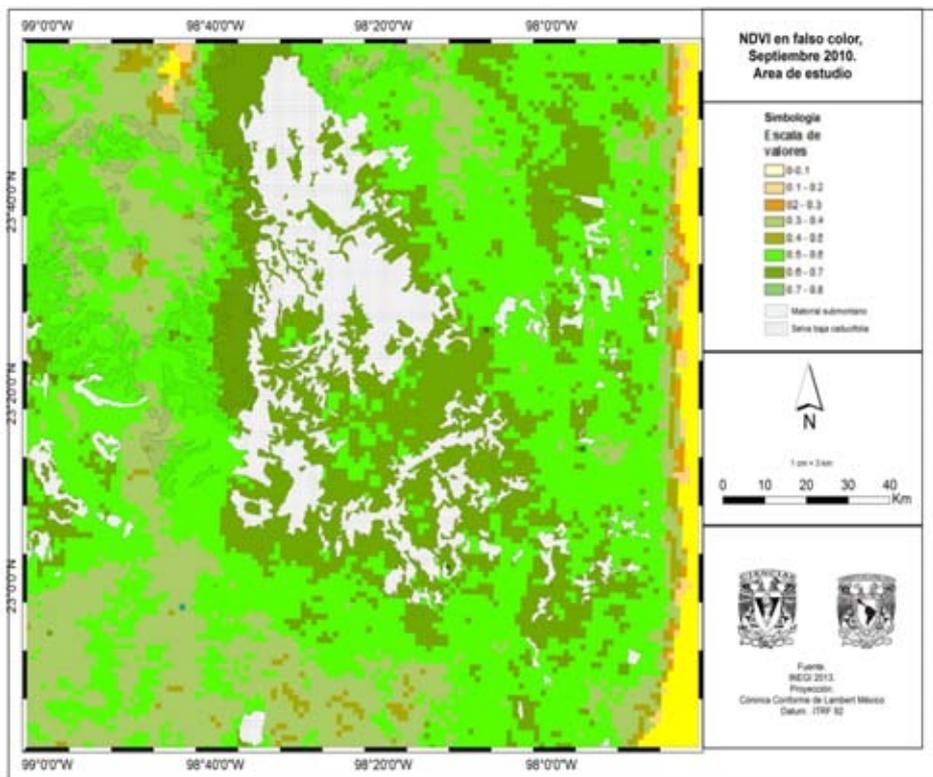


Figura1. Compuesto del mes de Septiembre 2010 del Índice de vegetación (NDVI) en falso color, textura de rayada matorral submontano, en textura punteada selva baja caducifolia, imagen pertenece al año con los valores más altos de todo el periodo de 17 años.

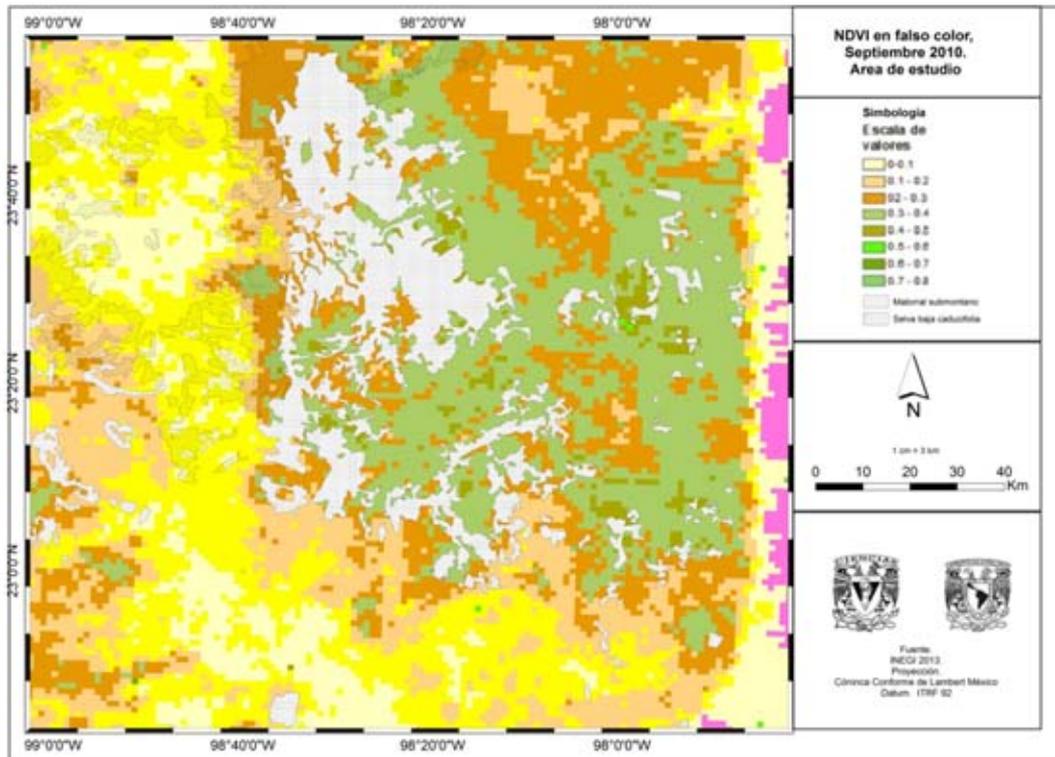
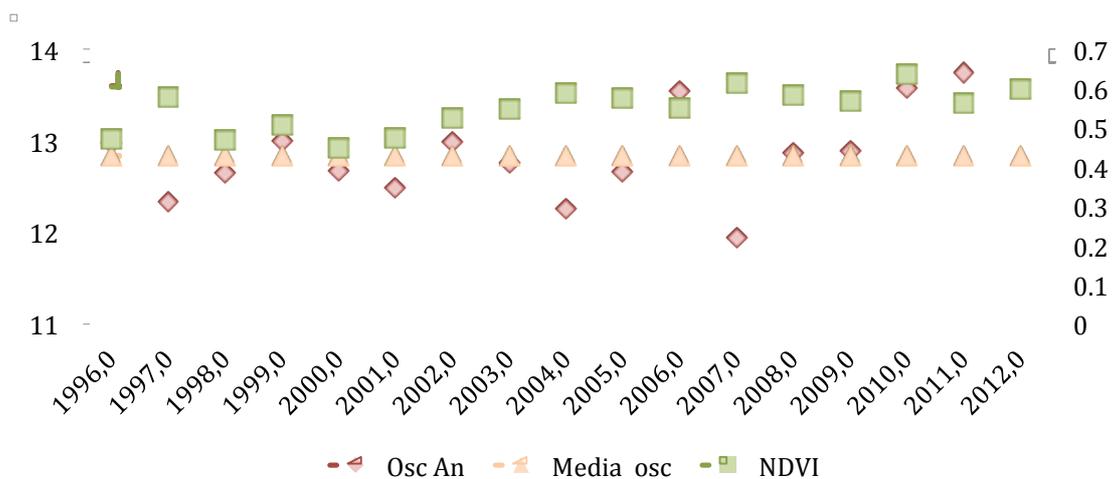


Figura 2. Compuesto del mes de Mayo 2000 del Índice de vegetación (NDVI) en falso color, textura de rayada matorral submontano, en textura punteada selva baja caducifolia, imagen pertenece al año con los valores más bajos de todo el periodo de 17 años.

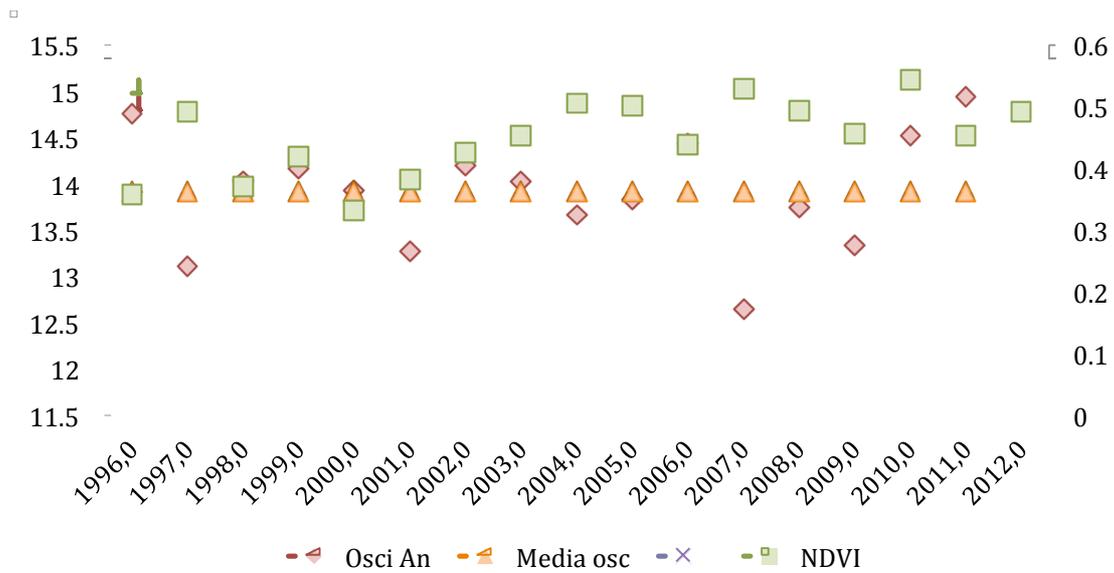
En las gráficas 16 y 17, en donde se muestra el comportamiento temporal de la oscilación térmica extrema, la precipitación y el NDVI para la SBC y el MS respectivamente, se puede ver en el caso de la SBC, que en los años húmedos 2007 y 2008, el NDVI fue alto en 2007, sin embargo descendió en el 2008, en el primer caso, la oscilación disminuyó; y en el 2008 aumentó ligeramente. Esto mismo ocurrió en el año de 1997, en donde el NDVI se observa que responde a la lluvia, ya que los dos aumentan, pero la oscilación disminuye.

Este mismo comportamiento se puede observar con los valores del NDVI del MS, en los años 1997 y 2007, aumentan NDVI y precipitación, pero la oscilación disminuye. En cambio en 1999, año considerado seco, el NDVI es ligeramente alto, así como la oscilación térmica.

Por las correlaciones obtenidas se puede decir en forma general que la SBC, al ser estacional responde más a la presencia de la lluvia, que el MS, quien reacciona a la temperatura mínima, debido tal vez a que a que los componentes de esta cubierta de vegetación no pierden en su totalidad las hojas, y por tanto se ven más influenciados por la temperatura mínima y media, en cambio con la temperatura máxima su reacción es más lenta, (dos meses). Las correlaciones con las oscilaciones (Tabla 4 y 5) también son más altas que con el NDVI de la SBC. En este caso se podría decir que la respuesta de las dos cubiertas de vegetación no pueden ser utilizadas como ejemplos de respuesta a la amplitud térmica extrema clásica de un clima marítimo, sino más bien de un clima continental, que como se recordará esta región se caracteriza por presentar oscilaciones térmicas muy altas características de un clima continental.



Grafica 16. Oscilación térmica SBC, con el comportamiento promedio de la oscilación térmica de la zona.



Grafica 17. Oscilación térmica del matorral subalpino, con el comportamiento promedio de la oscilación térmica de la zona.

Año	Osc. tér
1996	12.974
1997	12.34
1998	12.648
1999	12.998
2000	12.668
2001	12.492
2002	12.994
2003	12.759
2004	12.257
2005	12.66
2006	13.539
2007	11.937
2008	12.868
2009	12.894
2010	13.579
2011	13.745

Tabla 4. Oscilación térmica, selva baja caducifolia.

Año	Osc. Tér
1996	14.8
1997	13.1
1998	14.0
1999	14.2
2000	13.9
2001	13.3
2002	14.2
2003	14.0
2004	13.7
2005	13.8
2006	14.4
2007	12.6
2008	13.7
2009	13.3
2010	14.5
2011	14.9

Tabla 5. Oscilación térmica, matorral submontano.

7. Discusión y conclusiones

En este trabajo se ha mostrado que la influencia de la temperatura, precipitación, cociente P/T, y ETP sobre la vegetación presenta un comportamiento bastante constante a través del año, con sus diferencias en función de las cubiertas de vegetación y áreas en donde se localizan. De las correlaciones obtenidas se puede observar que la influencia del clima sobre la vegetación en esta región puede existir un posible retardo en la respuesta vegetal, que puede ir de un mes a dos meses para determinadas variables climáticas, y así como de la cubierta de vegetación, debido a que el suelo tiene una cierta capacidad de retención de agua y la vegetación puede hacer uso de ella tiempo después de las precipitaciones. Trabajos anteriores muestran que la vegetación no sólo responde a las condiciones climáticas, sino que en muchas ocasiones se puede producir un retardo e incluso una importante influencia de las condiciones climáticas que se registraron en el anterior periodo de crecimiento vegetativo (Richard y Poccard, 1998; Vicente -Serrano et al 2005).

Además se debe tener presente que la SBC, precisamente se caracteriza en que gran parte de los árboles y arbustos pierden sus hojas en la época seca del año, durante un periodo variable, pero que por lo general oscila alrededor de seis meses. Y en la época húmeda la vegetación ostenta un intenso verdor por su follaje.

Otro aspecto importante es que se presentan valores de NDVI en la época seca, ligeramente mayores al principio de año, esto se puede deber a que en el caso de la SBC, la mayoría de los elementos leñosos florecen a mediados o finales de la temporada de secas o a principios de las lluvias. Las leguminosas arbustivas desarrollan sus flores al inicio de la temporada seca. La producción de frutos y semillas ocurre en la temporada seca (Rzedowski, 1994; CONANP, 2005). El MS, en cambio

es subperenifolio, lo que implica que no todos los componentes pierden sus hojas en la temporada seca.

Es importante señalar que las diferencias estacionales en la dinámica vegetal y climática, todavía añaden complejidad a los análisis. En primavera y verano las precipitaciones tendrán más importancia que en invierno, estación en la que debido a las bajas temperaturas la actividad vegetal es muy baja, condición presente en la zona de estudio. El papel de las temperaturas y por consiguiente de la ETP, será también definido en función de las fases fenológicas en las que se encuentra la vegetación. En verano las elevadas temperaturas propiciarán un incremento del riesgo de estrés hídrico y por tanto, un descenso de los valores de NDVI, ya que la disponibilidad de agua será determinante.

En el análisis a nivel anual en el periodo estudiado, se pueden ver diferencias en los valores del NDVI, en donde se pone de manifiesto los años en que se registran los índices de vegetación más bajos, corresponden a los mismos que fueron definidos como secos. Este comportamiento entre la lluvia y el NDVI, indica que el agua, es el principal limitante que condiciona en mayor medida la actividad vegetal en estas dos cubiertas de vegetación analizadas.

Las condiciones térmicas, en su versión de la oscilación, también juegan un papel muy determinantes en la actividad de la vegetación, sobre todo en los años en que la cantidad de lluvia desciende.

8. Bibliografía citada.

Azpra, R. E., Carrasco, A. G., Delgado, D. D. O. y Villicaña, C. F. J., 2001. Los ciclones Tropicales de México. Instituto de Geografía, UNAM. Plaza y Valdés. México. Hernández, M. E., (Coordinadora). Temas Selectos de Geografía de México. I. Textos Monográficos: 6 Medio Ambiente. 120pp.

Arriaga, L., Espinoza, J. M., Aguilar, C., Gómez, L. y Loa, E. (Coordinadores), 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. Sierra de Tamaulipas. RTP-91. México.

<http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/Tris tado.html> consulta 8 de septiembre 2014.

http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rt p_091.pdf consulta 8 de septiembre 2014.

Belda, F., Melia, J. y Segarra, D., 1999. Relación entre el NDVI, precipitación y humedad del suelo. Aplicación a zonas forestales de la provincia de Alicante. En: Castaño, F. S., y Quintanilla, R. A. (Editores). Teledetección. Avances y Aplicaciones. VIII congreso Nacional de Teledetección. Albacete, España. 80-83.

Bonner, J., Galston, A., 1973. Principios de Fisiología Vegetal. Tolle, Lege Aguilar. España. 486pp.

Cuadrat, J. M. y Pita, M. F., 1997. Climatología. Cátedra Geografía. España. 496pp.

CONANP Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2005. Estudio previo Justificativo para el establecimiento de la Reserva de la Biosfera Sierra de Tamaulipas. México. 89 pp.

<http://www.conanp.gob.mx/anp/consulta/Tamaulipas1.pdf> Consulta 8 de septiembre 2014.

CONANP Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Mapa de áreas naturales protegidas. Regionalización CONANP 2007-2012. México.

http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/reservas_biosfera.php
consulta agosto 2014.

Cortez, V. M., 1998. El ciclo anual de la actividad convectiva en México con base en el análisis de valores medios para 5 días de OLR (*Outgoing Longwave Radiation*). Maestría en Geografía. División de Estudios de Posgrado. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 90pp.

Challenger, A. y Soberón, J., 2008. Los Ecosistemas terrestres. En: Soberón, J., Halffter, G. y Llorente-Bousquets (Compiladores), Sarukhán, J. (Coordinador Gral.). Conocimiento actual de la Biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad CONABIO. Vol 1: 87-108.

Chuvieco, 2008. Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio. Ariel Ciencias. España. 595pp.

Estrada, B. O. J. B., Gómez, D. J. D., Estrada, B. W. J. W., Monterroso, R. A. I. y Tinoco, R. J. A., 2008. El cambio climático en la República Mexicana. Aplicaciones metodológicas en el manejo de suelos. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 134pp.

Estrada-Castillón, E., Villarreal-Quintanilla, J. A., Jurado-Ybarra, E. J., Cantú-Ayala, C., García-Aranda, M. A., Sánchez-Salas, J., Jiménez-Pérez, J. y Pando-Moreno, M., 2012. Clasificación, estructura y diversidad del matorral submontano adyacente a la Planicie costera norte en el Noreste de México. *Botanical Sciences. Ecología*. 90(1):37-52.

Ferreras, Ch. C., 2000. Factores mesológicos de la vegetación. En: Meaza, R. G., (Coordinador). Metodología y Práctica de la

Biogeografía. Ediciones del Serbal. Colección La Estrella Polar. España. 132 pp.

Fernández, G. F., 1996. Manual de climatología aplicada. Clima, medio ambiente y planificación. Editorial síntesis. España. 285 pp.

Flores, V. O. y Gerez, P., 1994. Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso del suelo. Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO) y Universidad Nacional Autónoma de México. (UNAM). México. 439pp.

García, E., 1974. Distribución de la precipitación en la República Mexicana. Boletín Núm. 5. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 1: 7-20. Primera impresión 1965.

García, A. E. y Falcón, de G. Z., 1989. Atlas. Nuevo atlas Porrúa de la República Mexicana. Editorial Porrúa. México. 219pp.

García, E. y Vidal-Zepeda, R., 1992a. Temperatura máxima absoluta. En: García de Fuentes, A. (Edit). Atlas Nacional de México. México, D. F. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. México. Vol. II, Cap. IV, Núm. 5. Mapa escala 1:16,000,000. ISBN 968 36 1588 - 0.

García, E. y Vidal-Zepeda, R., 1992b. Temperatura mínima absoluta. En: García de Fuentes, A. (Edit). Atlas Nacional de México. México, D. F. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. México. Vol. II, Cap. IV, Núm. 5. Mapa escala 1:16,000,000. ISBN 968 36 1588 - 0.

García, E. y Vidal-Zepeda, R., 1992c. Oscilación anual de las temperaturas medias mensuales, en grados centígrados. En: García de Fuentes, A. (Edit). Atlas Nacional de México. México, D. F. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. México. Vol. II, Cap. IV, Núm. 5. Mapa escala 1:16,000,000. ISBN 968 36 1588 - 0.

García, E. y Vidal-Zepeda, R., 1992d. Oscilación anual de los promedios de temperaturas máximas y mínimas. En: García de Fuentes, A. (Edit). Atlas Nacional de México. México, D. F. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. México. Vol. II, Cap. IV, Núm. 5. Mapa escala 1:16,000,000. ISBN 968 36 1588 - 0.

García, E., 1998a. Precipitación total anual. Escala 1: 1 000 000 . Según el Sistema de Clasificación Climática de Köppen modificado por García. CONABIO. México.

<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

García, E. 1998b. Isotermas medias anuales (Zonas térmicas según el sistema de Köppen modificado por E. García). Escala 1: 1 000 000 . Según el Sistema de Clasificación Climática de Köppen modificado por García. CONABIO. México.

<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

García, E., 1998c. Temperatura máxima promedio. Escala 1: 1 000 000 . CONABIO. México.

<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

García, E., 1998d. Temperatura mínima promedio. Escala 1: 1 000 000 . CONABIO. México.

<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

García E., 1998e. Carta de climas de la República Mexicana. Escala 1: 1 000 000 . Según el Sistema de Clasificación Climática de Köppen modificado por García. CONABIO. México.

<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

García, E., 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (Parta adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México. Serie Libros Núm. 6. Primera edición 1964. 90pp.

Hernández, M. E. and Garza M. G. G. 2010. Rainfall variability in Mexico's southern highlands (instrumental and documentary phases, seventeenth to twenty first centuries). In: Karlin, L. N. and Shelutko, V. A. (Main Ed). *Ecology and Hydrometeorology of big cities and industrial zones (Russia-Mexico)*. Ministry of Education and Science of the Russian Federation. State Educational Institution Higher Professional Education Russian State Hydrometeorological University (RSHU).Vol. I Analysis of the Environment. Saint - Petersburg. Russian. 86-105.ISBN 978-5-86813-264-3. copies 100.

Iglesias, M. R., Barchuk, A. y Grilli, M. P., 2010. Dinámica estacional e interanual del NDVI en bosques nativos de zonas áridas argentinas. *Revista de Teledetección*. 43: 44-54.

INEGI, 1993. Síntesis Geográfica del Estado de Tamaulipas. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP). 158 Apéndice con 13 mapas.

IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio climático), 2007. Cambio Climático 2007. Impacto, Adaptación y Vulnerabilidad. Contribución del Grupo de trabajo II al Cuarto Informe

de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio climático. Resumen para Responsables de Políticas y Resumen Técnico. Organización Meteorológica Mundial (OMM). Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). .

Medrano, G. F., 2004. Las comunidades vegetales de México. Propuesta para la unificación de la clasificación y nomenclatura de la vegetación de México. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT. Instituto de Ecología, INE. México. 82pp.

Mosiño, A. P. and García, E., 1974. The climates of Mexico. In: Landsberg, H. (Ed). The Climates of North America. World Survey of Climatology. Elsevier Publ. Co. Amsterdam. IX: 345-390.

Palacio-Prieto, J., Bocco, G., Velázquez, A., Mas, J.-F., Takaki-Takaki, F., Victoria, A., Luna-González, L., Gómez-Rodríguez, G., López-García, J., Palma, M. M., Trejo-Vázquez, I., Peralta, H. A., Prado-Molina, J., Rodríguez-Aguilar, A., Mayorga-Saucedo, R. y González, M. F., 2000. La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del Inventario Nacional 2000. Nota Técnica. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México. Núm. 43: 183-203.

Paruelo, J. M. and Lauenroth, W. K., 1998. Interannual variability of NDVI and its relationship to climate for North American shrublands and grasslands. *Journal of Biogeography*. 25: 721-733.

Rzedowski, J., 1994. Vegetación de México. Limusa Noriega Editores. México. 432pp.

Rivas-Martínez, S., 2008. World Bioclimatics Classification System. Clasificación Bioclimática de la Tierra.

http://pendientedemigracion.ucm.es/info/cif/book/bioc/global_bioclimatics_2.htm Consulta 5 de septiembre 2014

SEMARNAT- Consejo Consultivo para el Desarrollo Sustentable de la región Noreste-Recomendación, 2014. SEMARNAT Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. Clave de la recomendación: CCRDS-NE/V14/29. 16pp.

<http://www.semarnat.gob.mx/transparencia/participacion-ciudadana/region-noreste> Consulta 8 de septiembre 2014

Vicente-Serrano, S. M. Cuadrat-Prats y Romo, A., 2005. Análisis estacional de la influencia climática sobre la variabilidad espacio-temporal del NDVI en el centro del valle del Ebro. Revista de Teledetección. 23: 51-64.