



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LAS
CONDICIONES DE LA VEGETACIÓN PARA EL
PARQUE NACIONAL IZTACCÍHUATL –
POPOCATÉPETL - ZOQUIAPAN (PNIPZ),
PERÍODO 1996 – 2006, MEDIANTE IMÁGENES
AVHRR.

T E S I S
PARA OBTENER EL TÍTULO DE
B I Ó L O G O
P R E S E N T A
RENÉ ARTURO MANDUJANO HURTADO

Directora.

M. en C. Gabriela Gómez Rodríguez

Asesor interno.

M. en C. Genaro Montaña Arias



MÉXICO D.F.

ABRIL, 2013

Dedicatoria

Primero a **Dios**, gracias señor por permitirme servirte hasta el día de hoy y llenar mi vida de bendiciones.

Esta tesis es el esfuerzo de mi madre **María de la Luz Hurtado Terrazas** y de mi padre **René Arturo Mandujano**, quienes supieron llevarme por el mejor camino que es el sacrificio y trabajo para lograr tus metas, espero nunca defraudarlos también va dedicada a mi tía **Juana Hurtado** que me apoyo en muchas instancias de la vida.

Agradecimientos

A las instituciones y maestros que me han brindado educación y conocimiento, aquellas personas maravillosas que por medio de su apoyo, amistad, confianza y amor, me hacen sacar lo mejor de mí, para quienes considero parte de mi familia, para todos ellos van estas enormes **gracias:**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Estudios Superiores Zaragoza

Instituto de Geografía de la UNAM

M en C Gabriela Gómez Rodríguez

Dr. Roberto Bonifaz Alfonzo

Biól. Beatriz Moncada

Biól. María Beatriz Martínez Rosales

M en C. Genaro Montaña Arias

M en C. Eliseo Cantellano de Rosas

Dr. Antonio Valencia Hernández

Martha Quiroz López

Dra. Guadalupe Rebeca Granados Ramírez

Familia Salmerón Ramírez

Francisco René Viveros Ortiz

Familia Samayoa Navarrete

Javier Eduardo Castillo López

Familia Portillo Martínez

Biól. Margarita Marín Armengol

Biól. Mario López Gordillo

Biól. Edith Calixto

Ángel Domínguez

M en I. Marco Antonio López Vega.

Michael Joseph Jackson

Índice de Contenido.

RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	8
Importancia del Parque	8
Sistemas de Información Geográfica (SIG)	9
Percepción Remota	9
Firma espectral.....	10
Satélites NOAA.....	11
Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)	12
Problemática del Parque	16
Justificación	18
Área de Estudio	19
Clima	21
Vegetación	23
OBJETIVO GENERAL.....	26
Objetivos particulares	26
Método.....	27
Fase de Campo	28
Fase de Gabinete.....	29
Delimitación del Área de estudio	29
Fase de Laboratorio	31
Obtención de las imágenes satelitales.....	31
Cálculo del NDVI.....	32
Intersección de datos (campo y NDVI).....	33
Selección de datos Climáticos	33
Resultados y Análisis.....	34
Variaciones y cambios en la vegetación	34
Conclusiones.....	60
Bibliografía	61
Anexos.....	66

Índice de Figuras.

FIGURA 1. COMPARACIÓN ENTRE DIFERENTES FIRMAS ESPECTRALES, PARA DISTINTOS TIPOS DE CUBIERTAS.	10
FIGURA 2. COMPORTAMIENTO DE LA VEGETACIÓN VIGOROSA.	13
FIGURA 3. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	20
FIGURA 4. MAPA DE CLIMAS PARQUE NACIONAL IZTACCÍHUATL – POPOCATÉPETL – ZOQUIAPAN (PNIPZ), DE ACUERDO A LA CLASIFICACIÓN DE KÖPEN.	22
FIGURA 5. VARIACIÓN Y CAMBIOS EN LA VEGETACIÓN DEL PNIPZ REPRESENTACIÓN 1996 Y 2006 ÉPOCA DE LLUVIA Y DE SECAS	35
FIGURA 6. MAPA DE PUNTOS DE MUESTREO Y TIPOS DE VEGETACIÓN DE ACUERDO AL INVENTARIO FORESTAL NACIONAL DEL 2000 (IFN).	37
FIGURA 7. MAPA DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS Y TIPOS DE VEGETACIÓN DE ACUERDO AL INVENTARIO FORESTAL NACIONAL DEL 2000 (IFN).	54

Índice de Gráficas.

GRÁFICA 1. ANÁLISIS DEL NDVI SITIO 3, BOSQUE DE PINO PERIODO 1996-2006.....	39
GRÁFICA 2. ANÁLISIS DEL NDVI SITIO 26, BOSQUE DE PINO Y BOSQUE DE OYAMEL PERIODO 1996-2006.....	41
GRÁFICA 3. ANÁLISIS DEL NDVI SITIO 14, BOSQUE DE PINO-ENCINO PERIODO 1996-2006.....	43
GRÁFICA 4. ANÁLISIS DEL NDVI SITIO 22, BOSQUE DE OYAMEL-PINO PERIODO 1996-2006.....	45
GRÁFICA 5. ANÁLISIS DEL NDVI SITIO 23, BOSQUE DE PINO-CEDRO BLANCO PERIODO 1996-2006.....	47
GRÁFICA 6. ANÁLISIS DEL NDVI SITIO 8, BOSQUE DE OYAMEL PERIODO 1996-2006. .	49
GRÁFICA 7. ANÁLISIS DEL NDVI SITIO 32, BOSQUE DE ENCINO PERIODO 1996-2006 .	51
GRÁFICA 8. ANÁLISIS DEL NDVI DEL BOSQUE DE ENCINO CONTRA LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL, ESTACIÓN ACHICHIPICO	55
GRÁFICA 9. ANÁLISIS DEL NDVI PARA VEGETACIÓN AGRICULTURA DE TEMPORAL CON CULTIVOS PERMANENTES Y SEMIPERMANENTES CONTRA LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL, ESTACIÓN COATEPEC DE LOS OLIVOS	57
GRÁFICA 10. ANÁLISIS DEL NDVI DEL BOSQUE DE PINO CONTRA LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL, ESTACIÓN SAN LUIS AMECA.....	59
GRÁFICA 11. ANÁLISIS DEL NDVI SITIO 7, BOSQUE DE PINO-PASTIZAL INDUCIDO PERIODO 1996-2006.....	67
GRÁFICA 12. ANÁLISIS DEL NDVI SITIO 54, AGRICULTURA DE TEMPORAL PERIODO 1996-2006.....	69
GRÁFICA 13. ANÁLISIS DEL NDVI SITIO 62, BOSQUE DE AILE-PINO PERIODO 1996-2006.....	71
GRÁFICA 14. ANÁLISIS DEL NDVI SITIO 2, BOSQUE DE PINO Y OTROS PERIODO 1996-2006.....	73
GRÁFICA 15. ANÁLISIS DEL NDVI SITIO 29, BOSQUE DE ENCINO Y OTROS PERIODO 1996-2006.....	75
GRÁFICA 16. ANÁLISIS DEL NDVI SITIO 5, MATORRAL INERME Y OTROS PERIODO 1996-2006.....	77
GRÁFICA 17. ANÁLISIS DEL NDVI SITIO 1, PASTIZAL INDUCIDO Y OTROS PERIODO 1996-2006.....	79
GRÁFICA 18. ANÁLISIS DEL NDVI SITIO 21, FUERA DEL ÁREA PERIODO 1996-2006. ..	81
GRÁFICA 19. ANÁLISIS DEL NDVI DEL BOSQUE DE PINO-ENCINO (INCLUYE ENCINO-PINO) CONTRA LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL, ESTACIÓN ÁVILA CAMACHO	83
GRÁFICA 20. ANÁLISIS DEL NDVI PARA AGRICULTURA DE TEMPORAL CON CULTIVOS ANUALES CONTRA LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL, ESTACIÓN ÁVILA CAMACHO.....	84
GRÁFICA 21. ANÁLISIS DEL NDVI DEL BOSQUE DE PINO CONTRA LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL, ESTACIÓN ÁVILA CAMACHO	85
GRÁFICA 22. ANÁLISIS DEL NDVI DEL BOSQUE DE PINO CON VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA Y HERBÁCEA CONTRA LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL, ESTACIÓN ÁVILA CAMACHO	86
GRÁFICA 23. ANÁLISIS DEL NDVI DEL PASTIZAL INDUCIDO CONTRA LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL, ESTACIÓN ÁVILA CAMACHO	87
GRÁFICA 24. ANÁLISIS DEL NDVI DEL PASTIZAL INDUCIDO CONTRA LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL, ESTACIÓN SAN LUIS AMECA.....	88

Índice de Tablas.

TABLA 1. LISTADO DE LOS PUNTOS DE VEGETACIÓN DONDE FUERON TOMADOS LOS PUNTOS DE CARACTERIZACIÓN CON GPS.	28
TABLA 2. AÑOS PROCESADOS Y TIPO DE SATÉLITE UTILIZADO.	31
TABLA 3. TIPOS DE VEGETACIÓN DE ACUERDO CON EL IFN_2000.	38
TABLA 4. ESTADÍSTICA BÁSICA DEL NDVI PARA BOSQUE DE PINO PERIODO 1996-2006.	40
TABLA 5. ESTADÍSTICA BÁSICA DEL NDVI PARA BOSQUE DE PINO Y BOSQUE DE OYAMEL PERIODO 1996-2006.	42
TABLA 6. ESTADÍSTICA BÁSICA DEL NDVI PARA BOSQUE DE PINO-ENCINO PERIODO 1996-2006.	44
TABLA 7. ESTADÍSTICA BÁSICA DEL NDVI PARA BOSQUE DE OYAMEL-PINO PERIODO 1996-2006.	46
TABLA 8. ESTADÍSTICA BÁSICA DEL NDVI PARA BOSQUE PINO-CEDRO BLANCO PERIODO 1996-2006.	48
TABLA 9. ESTADÍSTICA BÁSICA DEL NDVI PARA BOSQUE DE OYAMEL PERIODO 1996-2006.	50
TABLA 10. ESTADÍSTICA BÁSICA DEL NDVI PARA BOSQUE DE ENCINO PERIODO 1996-2006.	52
TABLA 11. ESTADÍSTICA BÁSICA DEL NDVI PARA BOSQUE DE PINO-PASTIZAL INDUCIDO PERIODO 1996-2006.	68
TABLA 12. ESTADÍSTICA BÁSICA DEL NDVI AGRICULTURA DE TEMPORAL PERIODO 1996-2006.	70
TABLA 13. ESTADÍSTICA BÁSICA DEL NDVI PARA BOSQUE DE AILE-PINO PERIODO 1996-2006.	72
TABLA 14. ESTADÍSTICA BÁSICA DEL NDVI PARA BOSQUE DE PINO Y OTROS PERIODO 1996-2006.	74
TABLA 15. ESTADÍSTICA BÁSICA DEL NDVI PARA BOSQUE ENCINO Y OTROS PERIODO 1996-2006.	76
TABLA 16. ESTADÍSTICA BÁSICA DEL NDVI PARA MATORRAL INERME Y OTROS PERIODO 1996-2006.	78
TABLA 17. ESTADÍSTICA BÁSICA DEL NDVI PASTIZAL INDUCIDO Y OTROS PERIODO 1996-2006.	80
TABLA 18. ESTADÍSTICA BÁSICA DEL NDVI FUERA DEL ÁREA PERIODO 1996-2006.	82

RESUMEN

El parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl-Zoquiapan (PNIPZ), se define como áreas donde existen uno o varios ecosistemas, contiene un paisaje natural, mantiene una importancia como fuente de alimentación de las aguas de los ríos, manantiales y lagunas del valle de México, en cuyo límite inferior alcanzaba la cota de los 3000 m.s.n.m, así como a su interior habitan 471 especies de las cuales 18 son endémicas como el *Romerolags diazi* (teporingo), *Peromyscus maniculatus*, entre otras. La vegetación presente, están los bosques de coníferas, bosques de encinos, pastizal subalpino, pastizal alpino entre otras.

El PNIPZ es objeto de deterioro, de los diversos estratos vegetales afectando los recursos naturales, maderables, agua y oxígeno. Una de las técnicas que han demostrado gran utilidad para monitorear las condiciones de la cobertura vegetal es la percepción remota. Mediante sensores remotos como la serie NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), el NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) utiliza la banda 1 visible y 2 infrarrojo cercano, con el cual se calcula series de tiempo que permiten el análisis fenológico y la detección de cambios en las condiciones de la vegetación.

El análisis a los diversos tipos de comunidades vegetales refleja cambios en la respuesta espectral y retrasos en la respuesta fotosintética con valores bajos de NDVI generalmente en 2001, lo que refleja que los CLN para esa época al ser evaluados, no cuentan con un grado de eliminación de nubes óptima en la zona, lo cual no permite mantener extraer valor máximo del índice para todo el periodo del año solo en el caso de Bosque de Encino podría estar constituyendo valores bajos en épocas de sequía por su comportamiento caducifolio.

Ahora bien el NDVI y la precipitación mensual no siguen una distribución normal, por lo que al usar las estaciones meteorológicas como puntos de muestreo, se observa un desfase en la temporalidad entre ambas variables de un mes con respecto a la temporada de lluvias parece haber un patrón entre la cantidad de precipitación y la vegetación, es decir a mayor precipitación, mayor NDVI hasta un límite donde aunque aumente esta precipitación el NDVI ya no aumenta.

INTRODUCCIÓN

Importancia del Parque

El parque nacional surge de 1935 a 1939, se define como áreas donde existen uno o varios ecosistemas que no han sido alterados por la explotación y ocupación humana donde las especies vegetales, animales, lugares y hábitats geomorfológicos tienen interés científico, educativo y recreativo. Contienen un paisaje natural que cuenta con las medidas necesarias para prevenir o eliminar la explotación y ocupación del área y hacer respetar sus características propias que han conducido a su creación Vargas, (1984).

Durante el año de 1935, se reconoció como área protegida parte de la Sierra Nevada, creándose el Parque Nacional Iztaccíhuatl – Popocatepetl, con base en su importancia como fuente de alimentación de las aguas de los ríos, manantiales y lagunas del valle de México, en cuyo límite inferior alcanzaba la cota de los 3,000 m.s.n.m. Por otro lado, el 19 de febrero de 1937 se crea el Parque Nacional Zoquiapan y Anexas (Zoquiapan, Ixtlahuacán y Río Frío) considerando que los terrenos forestales correspondientes son 19,418 ha, los cuales, habían permanecido comprendidos dentro de los límites del Parque Nacional Iztaccíhuatl – Popocatepetl Vargas, (2000).

El 11 de febrero de 1948, se modificaron los linderos del parque, quedando así, su cota de 3,600 m.s.n.m. en los cerros de Tláloc, Telapón y las montañas del Iztaccíhuatl y Popocatepetl, teniendo una superficie de 25, 679 ha Vargas, (2000).

El acceso a información relacionada con datos geográficos e imágenes provenientes de sensores remotos, constituyen hoy en día una herramienta más a la contribución del diagnóstico de nuestros recursos naturales y particularmente, para determinar el contexto o algunos factores determinantes de la condición de deterioro de la biodiversidad y el diseño de estrategias para su conservación Cantellano E. (2007). Por lo anterior se derivan dos definiciones importantes para la implementación del estudio a los parques, entre otros ecosistemas.

Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Por definición, los Sistemas de Información Geográfica son un conjunto de elementos ordenadamente relacionados entre sí. De acuerdo con Aronnof, (1991) "Un Sistema de Información Geográfica es un sistema que proporciona los cuatro siguientes conjuntos de capacidades para el manejo de datos georreferenciados: entrada de datos, gestión de los datos (almacenamiento y recuperación), manipulación, análisis y salida de los datos". Por lo que las aplicaciones del SIG incluyen todas aquellas en que se hace necesario manejar información que se encuentra distribuida en el espacio físico del mundo en que vivimos Ball, (1994). Por otro lado el termino (SIG) descrito por primera vez por el geógrafo Roger Tomlinson en 1963, el lleva el concepto como una herramienta de análisis espacial para resolución de problemas, mediante modelos que permiten encontrar patrones y entender los cambios en los eventos que dan origen a fenómenos Quintero (2009)

Percepción Remota

La Percepción Remota o Teledetección puede definirse como la ciencia y arte de obtener información de un objeto analizando los datos adquiridos mediante algún dispositivo que no está en contacto físico con dicho objeto. Poveda y Rojas, (2003). También puede verse como un proceso que requiere:

- ❖ Una fuente emisora de energía electromagnética
- ❖ Un objeto por estudiar
- ❖ Un sistema capaz de captar información
- ❖ Una distancia entre el objeto de estudio y el sistema que puede captar la información. Chuvieco E. (2000)

Firma espectral

La forma específica en que un determinado objeto responde a las diferentes longitudes de onda de la energía electromagnética, se le denomina como firma espectral. Este tipo de respuesta se da en forma de energía reflejada o emitida y será diferente de acuerdo a las características físicas y químicas del objeto en cuestión Jensen, (1986).

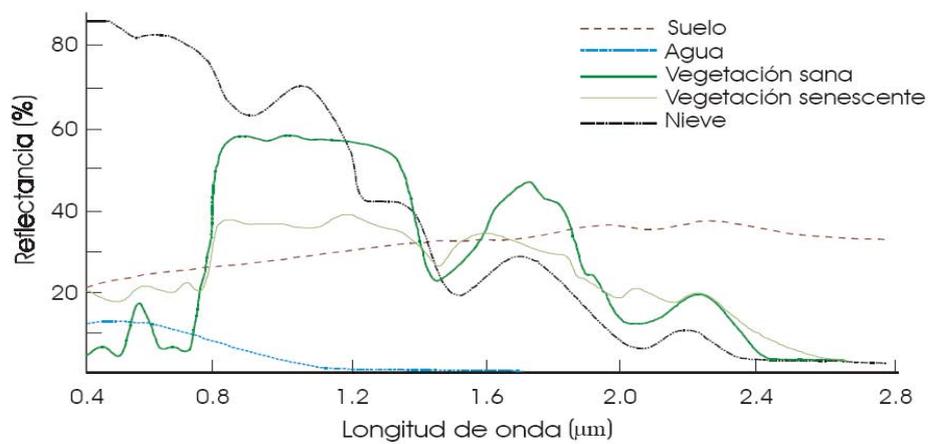


Figura 1. Comparación entre diferentes firmas espectrales, para distintos tipos de cubiertas.

Chuvieco E. (1990)

Satélites NOAA

La serie **NOAA (National Oceanic and Atmospheric)** Su altitud orbital fluctúa entre 833 y 870 km. Este tipo de satélite utiliza un sensor llamado **AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)**, que proporciona imágenes en 5 bandas del espectro y genera una imagen cada doce horas que cubre un área aproximada de 2800 km de visión total, con una resolución espacial de 1.1 km por píxel.

Debido a que tiene una amplia cobertura y una baja resolución le permite analizar las condiciones de vegetación en períodos cortos de tiempo y a escala global. Esto favorece el estudio de fenómenos como la desertificación, la deforestación de zonas inaccesibles, los incendios forestales de gran magnitud, entre otros.

En la actualidad se ha comprobado que el análisis de los índices de vegetación derivados de las bandas visible e infrarroja de los satélites NOAA constituyen una valiosa herramienta para el monitoreo a escala continental y regional, densidad y vigor de cultivos a lo largo de un ciclo agrícola Tucker *et al.*,(1985); Sellers, 1985 Tucker y Sellers (1986), Bartolomé, 1988; Ehrlich, (1994); Watts y Saiz, (1996) y Rasmussen, (1997); Granados R., Gómez G. y Reyna T., (2004), igualmente se ha mostrado que existe relación entre la biomasa y dichos índices (Anderson, 1993).

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

Debido que la mayor parte de información espectral de la vegetación está presente en el rojo e infrarrojo cercano (contenido de clorofila y agua) se generó por primera vez un parámetro denominado índice de vegetación, Pearson y Miller propusieron por primera vez este en 1972, el cual lo denominan Ratio Índice de Vegetación (RVI) para 1974, Rouse *et al citados en* Manzo L, (2006). Formulan el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) Gilabert *et al.*, (1997).

El comportamiento espectral de la vegetación vigorosa (estado fitosanitario) (Fig.2) en teoría muestra una reducida reflectividad en las bandas visibles (0.4 a 0.7 μm) debido al efecto absorbente de las clorofilas, xantofilas y carotenos, captando la radiación situada en torno a los 0.445 μm . La clorofila presenta una segunda banda de absorción cercana a los 0.645 μm . Entre ambas porciones del espectro electromagnético, aparece una banda intermedia, alrededor de los 0.55 μm , en donde el efecto absorbente es menor, mostrando así un máximo relativo de reflectividad. Gates *et al.*, (1980).

Dentro de la firma espectral, dependiendo de las longitudes de onda observadas, es posible el análisis particularizado de características de la cubierta vegetal, es por ello que el índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), permite observar cambios dentro de la cobertura vegetal. Se basa en el patrón de comportamiento de la firma espectral de la vegetación, entre la banda visible e infrarrojo cercano (0.8 a 1.2), ya que una gran cantidad de la luz visible se absorbe y casi la totalidad de luz infrarroja se refleja y además se transmite. Reed *et al.*,(1994).

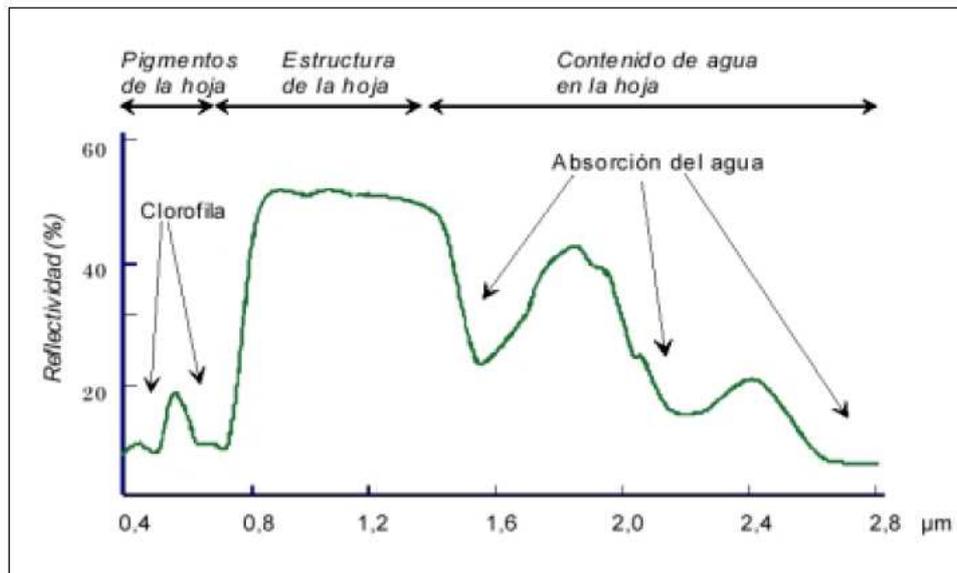


Figura 2. Comportamiento de la vegetación vigorosa.

Molina, (1984)

Existe toda una gama de índices de vegetación, uno de los más usados es el Índice de Vegetación Normalizado Diferenciado (NDVI) Reed *et al.*,(1994).

La obtención del NDVI, se realiza a partir de un cociente entre la banda roja y la banda IR cercano, de acuerdo a la fórmula No1:

$$\text{NDVI} = \frac{(R2 - R1)}{(R2 + R1)}$$

En donde:

R2 = Canal visible

R1 = Canal Infrarrojo cercano

El resultado de esta fórmula arroja valores que van de -1 a +1, donde las áreas con vegetación presentan valores positivos de NDVI según la estructura, fisonomía y densidad del tipo de vegetación Reed *et al.*, (1994), ya que no toda la vegetación se comporta espectralmente igual.

Esto depende, como ya se dijo, de cada tipo de especie. Mientras que el suelo y el agua tienen valores cercanos a cero o negativos Gilabert *et al.*, (1997). Dichos cambios del NDVI guardan, una estrecha relación con los cambios estacionales de temperatura y precipitación Justice *et al.*, 1985; Batista *et al.*, (1997). Por ello para la época lluviosa el NDVI registra los valores más altos, debido al desarrollo y la producción de la biomasa foliar de cada tipo de vegetación; mientras que en el periodo de sequía el NDVI presenta valores bajos, que representan la senescencia y caída del follaje Birky, (2001). Por ello, el monitoreo del NDVI durante la estación seca ayuda a conocer el estado del material vegetal.

Ya que la materia orgánica llega a ser un combustible, y con ello un iniciador y propagador de incendios Burgan *et al.*, (1998). Así pues, las técnicas de percepción remota constituyen un gran apoyo para el estudio de incendios forestales.

Por todo lo mencionado con anterioridad, el NDVI reúne dos caracteres muy importantes: sencillez matemática y poder de estandarización de la respuesta espectral de sistemas vegetales, alcanzando un alto grado de relación con diversos parámetros de interés agrícola, tales como la biomasa, el índice de superficie foliar, entre otros. Reed *et al.*,(1994).

Problemática del Parque

A continuación se listan algunos de los problemas al interior del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl-Zoquiapan (PNIPZ):

1. La presión demográfica, esto es debido a la demanda de espacios, lo que trae consigo que las personas de poblados aledaños se vayan introduciendo y construyendo, hacia la parte del parque.
2. Los cambios de uso de suelo (desmontes con fines agrícolas o ganaderos), es aquí donde de acuerdo con Ordoñez, (1941); citados por Sosa, (1951). Mencionan que por 1930, entre los 2450 metros y hasta los 4000 metros de altura sobre el nivel del mar, el viajero recorría las laderas del Iztaccíhuatl, como las del Popo, entre una continua y apretada selva de cedros, de oyameles, de ocotes y de encinos, de los cuales no queda casi nada, pues solo quedan manchones.
3. La migración de la fauna nativa debido a la fragmentación de su hábitat, afectando así la dinámica del ecosistema.
4. El problema del agua en la zona es ocasionada por la disminución de la superficie de infiltración por pérdida del bosque y la acelerada expansión de la mancha urbana que demanda más el recurso. A la par de que la contaminación de cuerpos de agua es cada vez mayor.
5. Un problema serio es la tala, ya que esta ha devastado grandes superficies de bosques y fragmentado los ecosistemas, a pesar de haberse controlado dentro del parque, sigue estando presente en la zona.
6. La presencia de incendios, son provocados por técnicas agrícolas no sustentables, como la "roza, tumba y quema", para la renovación del pastizal y el ganado pueda alimentarse de los brotes después del incendio, esta práctica es la que ocasiona mayores superficies quemadas, también se presentan casos de incendios accidentales provocados por los usuarios y visitantes del PNIPZ.

7. La ganadería extensiva, obedece al alto grado de marginación que viven las comunidades aledañas y a la falta de planes de desarrollo rural sustentable que permita a estos grupos salir de la pobreza sin dañar los ecosistemas.

8. La contaminación atmosférica es un factor importante ya que la cercanía del PNIPZ a la gran metrópoli y la contaminación a la atmosfera que genera, reflejan que el efecto de lluvia acida o depósitos atmosféricos provocan retención de copa de la masa arbórea. Pérdida de hojas, bandeo clorótico y baja tasa de sobrevivencia de la regeneración natural, entre otros efectos acumulativos en los bosques de la región.

9. Las plagas como el *Arceuthobium* (muérdago) con varias especies, son perjudiciales al interior del parque, esta planta parásita se ha desarrollado y expandido a un ritmo rápido en los últimos años y que actualmente tiene infestadas grandes superficies que requieren de una intervención inmediata para su control. Otra especie que se torna perjudicial son los descortezadores del género *Dendroctonus*, con alto índice de peligrosidad, debido al muérdago que debilita al árbol.

Justificación

El actual deterioro al interior del PNIPZ, ha traído consigo pérdidas de los diversos estratos vegetales. Afectando de esta manera los recursos naturales, como maderables, agua, y oxígeno, estos servicios, son proporcionados de manera natural por el parque, para las comunidades aledañas, así como a la urbe del DF.

Por ello programas de mitigación para la reactivación de un mejor estado fitosanitario del bosque, evitara problemáticas, como incendios a corto, mediano y largo plazo, además de controlar la migración de especies endémicas al interior del PNIPZ.

Esto nos lleva a pensar que estudios científicos, elaborados mediante Percepción remota, nos permitirán evaluar de manera sencilla el comportamiento fenológico de la vegetación, es decir el estado de vigor de las hojas, senescencia y caída del follaje, lo que a través del NDVI y el análisis multitemporal, para el parque permitirá una mejor toma de decisiones.

De esta manera imágenes como las AVHRR – NOAA se han considerado las más adecuadas, para este estudio, dada su temporalidad es decir la frecuencia con la que se obtiene cada imagen satelital.

Área de Estudio

El PNIPZ y su área de influencia comprende parte de los Estados de Puebla, México y Morelos, (18°59' a 19°15' LN y 98°35' a 98°42' LW), Vargas, (1984). Los límites de la cota de elevación del parque son de 3600 a 5452 m, de acuerdo con Chávez y Trigo, (1996). Abarca una superficie de 39.819.086 hectáreas divididas entre el Estado de México, con 28.307.487112 hectáreas (71.09%) Puebla con 11.072.918088 hectáreas (27.81%); y Morelos con 438.6808 hectáreas (1.10%).

El área de influencia tiene un gradiente altitudinal de los 2500 a 3600 m. La extensión de las áreas utilizadas para fines agrícolas, pecuarios y explotación forestal son comunes entre los 2000 y 3200m. Las reminiscencias de bosque que aun se aprecian corresponden a bosques de encino y encino-pino principalmente. El clima corresponde a un templado húmedo. En el parque y de acuerdo con su ubicación, los bosques responden principalmente a gradientes altitudinales y de topografía, como es el caso de las cañadas húmedas y secas, de las que hacen posible contar una gran diversidad de hábitats.

En las partes bajas se presenta el bosque de pino, bosque de pino-encino, bosque de oyamel y pastizales amacollados, estos últimos podemos encontrar diferentes tipos de especies de pastizal alpino por arriba de los 4300 m.s.n.m García, (1981).

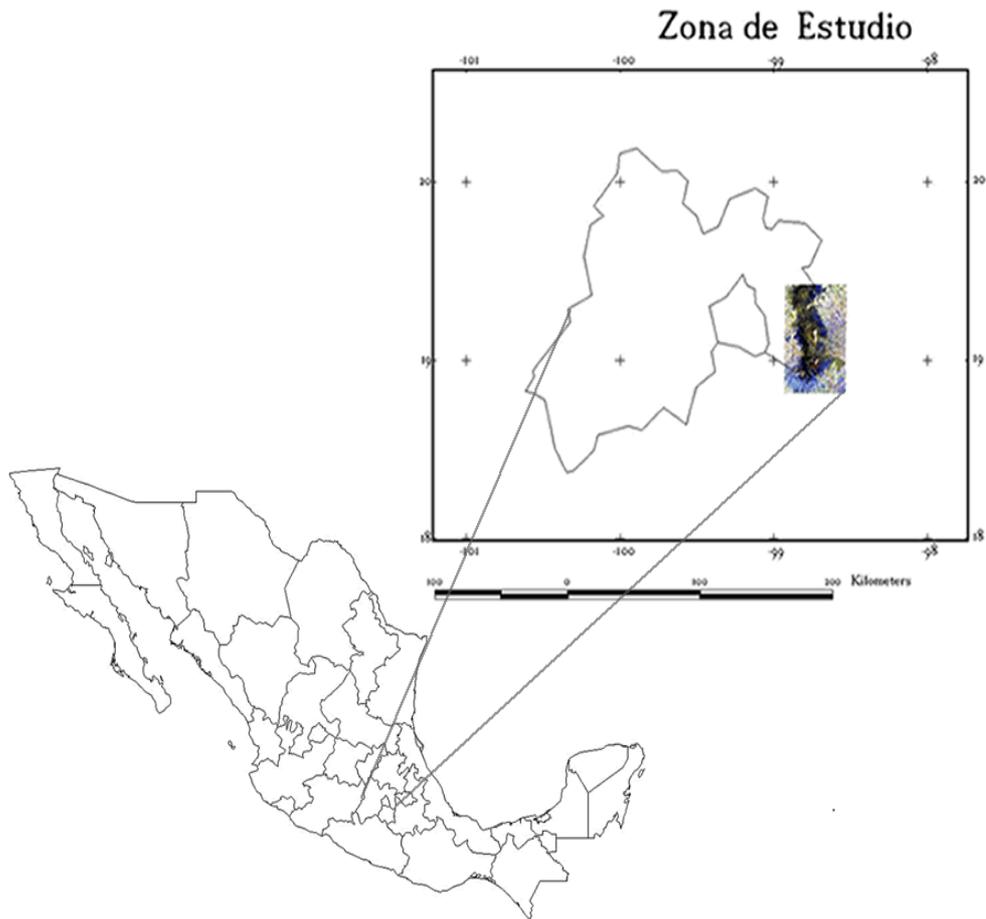


Figura 3. Delimitación del área de estudio

98° 50' 12 W, 19° 28' 56 N

Clima

De acuerdo con García, (1986, 1988), en la confluencia de los volcanes Tlaloc-Izta-Popo, se definen cuatro tipos climáticos:

- ❖ Templado subhúmedo [C(w₂)big], en las partes bajas de la montaña hasta los 3,000 msnm, se caracteriza por ser el más húmedo de los climas templados subhúmedos.
- ❖ Templado semifrío subhúmedo [C(w₂'')(w)cig], entre los 3,000 y 4,000 msnm, sobre la cota de la isoyeta de 1,200 mm, se caracteriza por ser el más frío de los templados, con temperatura media anual entre 5 y 12°C
- ❖ Frío de altura [ETHwi] en altitudes superiores de 4,000 msnm, con temperatura media anual menor a 5°C. Según Köppen en García, (1988) podría denominarse clima de los pastizales alpinos.
- ❖ Muy Frío [ET], se desarrolla en una superficie reducida en la cima de la montaña por arriba de los 5,000 msnm, presenta temperatura media anual por debajo de los 0°C, por lo que predomina el hielo y la nieve.

La precipitación anual es alta, oscila entre 800 y 1,200 mm; se presenta en diversas formas como nieve, lluvia, aguanieve y granizo. En ocasiones la nieve puede descender por debajo de los 4,000 msnm, aunque su permanencia es transitoria. Las lluvias ocasionales de invierno son producidas por los llamados Nortes del Golfo de México.



Figura 4. Mapa de Climas Parque Nacional Iztaccíhuatl – Popocatepetl – Zoquiapan (PNIPZ), de acuerdo a la clasificación de Köppen.

Vegetación

La región se encuentra inmersa en una zona templado-subhúmeda del país, la que comprende los principales sistemas montañosos de México, tales como las Sierras Madre Oriental, Occidental, del sur de Chiapas, el Eje Neovolcánico Transversal, las montañas de Oaxaca y el macizo central de Chiapas. Letona, (2001a)

La importancia de los bosques de coníferas y de encinos radica, en que de estos se obtiene la mayor parte de los productos maderables del país ya que se estima que aportan el 80% Letona, (2001a).

Los tipos de comunidad vegetal típica de la región del PNIPZ son los bosques de coníferas, bosques de encinos, pastizal subalpino, pastizal alpino, entre otros mas. Chávez y Trigo, (1996), también descrita por Madrigal, (1969) y Rzedowki, (1978), sus características son descritas a continuación:

Bosque de encino. Este tipo de comunidad prospera entre los 2350 a 3100 m formando amplios bosques que colindan con pastizales inducidos y zonas de cultivo, en áreas donde la precipitación es de 700 a 1200 mm, por consiguiente ocupan hábitats similares a los bosques de pino y en muchas ocasiones forman asociaciones con ellos. En altitudes de 2500 a 2800 m prospera el bosque de *Q. rugosa* que puede presentar también individuos de *Pinus*, *Arbutus* y de otras especies de *Quercus*. Por encima de los 2800 m se establece el bosque de *Quercus lauriana*, que presenta hojas más delgadas y es más bajo, también se encuentran ejemplares de los géneros *Abies*, *Cupressus*, *Arbutus*, *Pinus* y otras especies de *Quercus*. En los niveles arbustivos y herbáceos existen en los encinares los siguientes géneros: *Baccharis*, *Castilleja*, *Desmodium*, *Eupatorium*, *Galium*, *Muhlenbergia*, *Salvia* y *Senecio*.

Bosque de pino. Bosque de Coníferas, con una distribución en climas templados, constituida por árboles del género *pinus*, la cual presenta un aproximado de 49 especies, 18 variedades, 2 subespecies en las cadenas montañosas de toda la República desde los 300 m de altitud hasta los 4200 m en el límite altitudinal de la vegetación arbórea. En estos bosques se encuentra la mayor importancia económica de la industria forestal de nuestro país. La vegetación está dominada por diferentes especies de pino con alturas promedio de 15 a 30 m, los pinares tienen un estrato inferior relativamente pobre en arbustos, pero con abundantes gramíneas, esta condición se relaciona con los incendios y tala inmoderada. Las especies más comunes son: pino ayacahuite (*P. ayacahuite*), ocote blanco (*P. montezumae*), pino (*P. hartwegii*). Su temperatura media anual oscila entre los 10 a 20 °C; los pinares parecen tener una preferencia por áreas cubiertas por rocas ígneas que en estas condiciones climáticas producen suelos ácidos. Son varios los componentes arbustivos y herbáceos que en ellos se presentan, los más representativos son: *Archibaccharis*, *Bidens*, *Eryngium*, *Eupatorium*, *Festuca*, *Geranium*, *Lupinus*, *Ribes*, *Senecio*, *Salvia*, *Calamagrostis* y *Muhlenbergia*.

Bosque de Oyamel. Esta comunidad vegetal se caracteriza por la altura de sus árboles que llegan a sobrepasar los 30 m de altura, su desarrollo es en clima semifrío y húmedo, entre los 2000 y 3400 m de altitud, principalmente en el Eje Neovolcánico, la mayor parte de los parques nacionales y naturales entran en este tipo de vegetación. La especie dominante es pinabete *Abies religiosa* y *Abies sp* además de pino u ocote *Pinus spp* encino o roble *Quercus spp* y aile *Alnus firmifolia* en el estrato herbáceo esta la presencia de *Eupatorium* *Senecio*, *Acena* y *Salvia* entre otros. La alteración de las comunidades de Oyamel radica en el alto valor comercial de la madera, utilizada para leña, construcciones rurales y urbanas así como la pulpa para fabricación de papel.

Pastizal Inducido. Este surge cuando es eliminada la vegetación original. Este pastizal puede aparecer como consecuencia de desmonte de cualquier tipo de vegetación; también puede establecerse en áreas agrícolas abandonadas o bien como producto de áreas que se incendian con frecuencia. Son de muy diversos tipos y aunque cabe observar que no hay pastizales que pudieran considerarse como totalmente libres de alguna influencia humana, el grado de injerencia del hombre es muy variable y con frecuencia difícil de estimar. A consecuencia de pastoreo intenso, o fuegos periódicos. También se puede ocasionar por prolongados disturbios naturales.

Agricultura de Temporal. Son todos aquellos terrenos en donde el ciclo vegetativo de los cultivos que se siembran depende del agua de lluvia, sea independiente del tiempo que dura el cultivo en el suelo. Área en la que el suelo es utilizado para realización de labores agrícolas. Se distingue de acuerdo con la temporalidad del uso agrícola en el área.

Agricultura de Riego. Considera los diferentes sistemas de riego (método con el que se proporciona agua suplementaria a los cultivos, durante el ciclo agrícola, en el sitio de información), básicamente, es la manera de cómo se realiza la aplicación del agua.

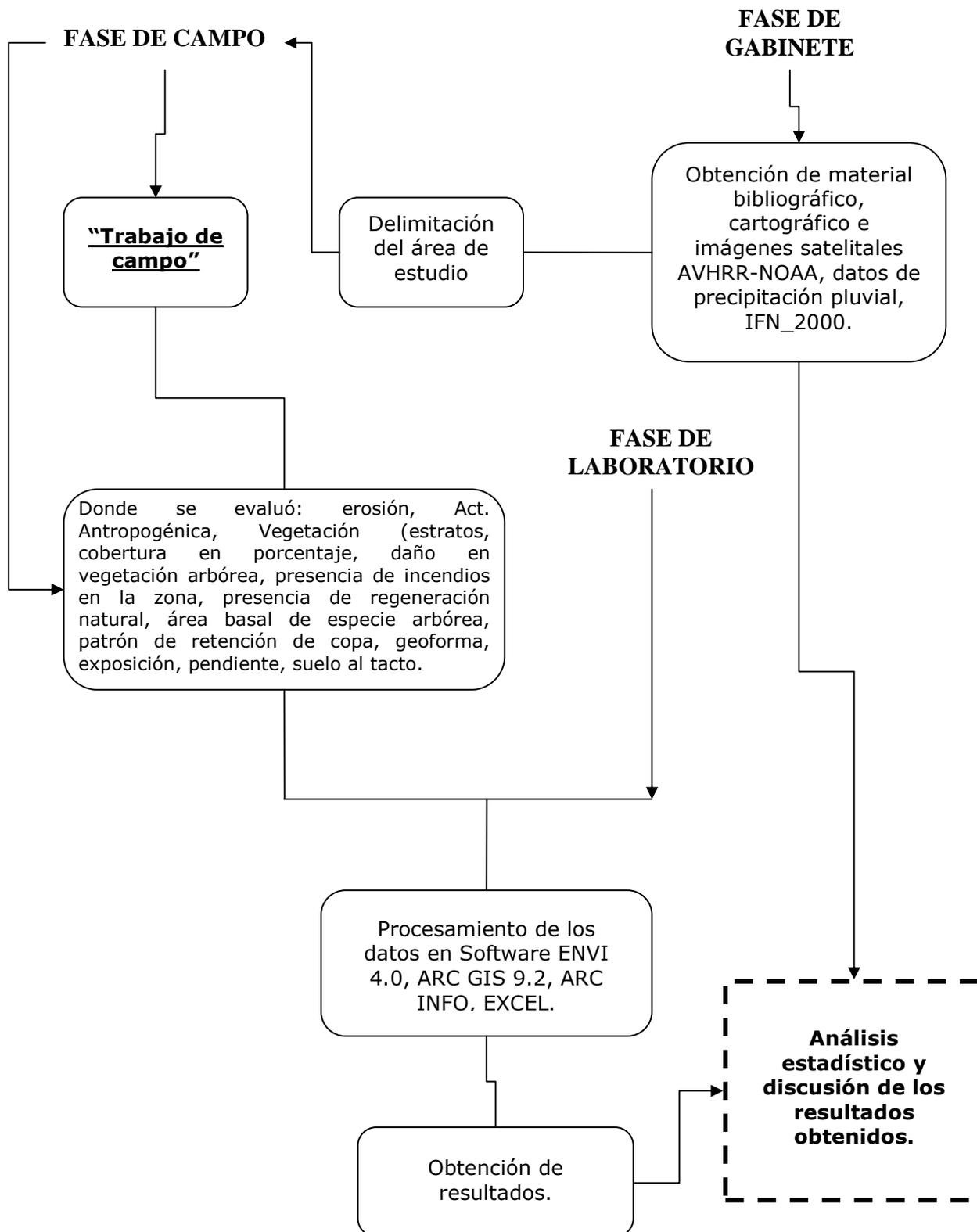
OBJETIVO GENERAL

- Realizar el análisis multitemporal para el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl-Zoquiapan PNIPZ, para el periodo 1996-2006.

Objetivos particulares

- Identificar en las imágenes las variaciones y cambios en la vegetación.
- Calcular el Índice Normalizado de Vegetación (NDVI).
- Evaluar los intervalos espectrales que corresponden a los diversos tipos de vegetación encontrada en el parque.
- Definir los cambios espectrales en la vegetación dentro del PNIPZ y su relación con la precipitación pluvial por medio de imágenes captadas por diversos sensores AVHRR del satélite NOAA.

Método



Fase de Campo

Para el trabajo de campo fueron utilizados los puntos de muestreo provistos por Moncada, (2007); tomados en el PNIPZ entre los años 2000 y 2004; en cada localidad se cuantificaron aspectos de las siguientes variables: tipo de erosión, actividad antropogénica, vegetación (estratos, cobertura en porcentaje), daño en vegetación arbórea, presencia y grado de incendio en la zona, presencia de regeneración natural (tipo y especial), área basal de especie arbórea (basado en el muestreo de cuadrantes), Patrón de retención de copa Ehrlich D., et al (1994) geoforma, exposición de la inclinación predominante, pendiente (en grados), textura del suelo al tacto Siebe, (1996).

Tabla 1. Listado de los puntos de vegetación donde fueron tomados los puntos de caracterización con gps.

ID de GPS	COMUNIDAD	ID de GPS	COMUNIDAD
1	Abies	19	<i>P. Teocote</i>
2	Abies, <i>Cupressus lusitanica</i>	20	<i>P. Teocote</i> , <i>Q. sp</i> ,
3	Abies, <i>P. hartwegii</i>	21	<i>P. hartwegii</i>
4	Abies, <i>P. patula</i> , <i>Cupressus lusitanica</i>	22	<i>P. hartwegii</i> , Abies
5	Abies, <i>P. patula</i> , <i>P. montezumae</i>	23	<i>P. montezumae</i>
6	Abies, <i>Q.sp</i> , <i>Cupressus lusitanica</i>	24	<i>P. montezumae</i> , <i>P. hartwegii</i>
7	Abies, <i>Quercus sp</i> , <i>P. montezumae</i>	25	<i>P.teocote</i> , <i>P. montezumae</i>
8	Abies. <i>P. montezumae</i> ,	26	<i>Q. glabrenses</i> , <i>Q. glaucoides</i>
9	Abies. <i>P. montezumae</i> ,	27	<i>Q. glabrenses</i> , <i>Q. greggii</i> , <i>Q. glaucoides</i>
10	<i>Arbutus sp.</i> , <i>P. montezumae</i>	28	<i>Q. greggi</i> , <i>Cupressus</i> , <i>Buddleia</i>
11	<i>Cupressus lusitanica</i> , <i>Q. sp</i> , <i>P. montezumae</i> , Abies	29	<i>Q. greggi</i> , <i>Q. laeta</i>
12	<i>Cupressus</i> , Abies	30	<i>Q. laeta</i> , <i>Q. crasifolia</i>
13	<i>P. ayacahuite</i>	31	<i>Q. laurina</i> , <i>P. ayacahuita</i> , Abies
14	<i>P. ayacahuite</i> , <i>P. montezumae</i> , <i>P. patula</i>	32	<i>Q. sp</i> , Abies
15	<i>P. montezumae</i>	33	<i>Q. sp</i> , <i>P. teocote</i>
16	<i>P. montezumae</i> , <i>Cupressus</i> , Abies	34	<i>Q. sp.</i> , <i>P. montezumae</i>
17	<i>P. montezumae</i> , <i>P. hartwegii</i>	35	<i>Quercus sp</i> , <i>P. montezumae</i> Y <i>cupressus</i>
18	<i>P. patula</i> , <i>Q. sp</i> , <i>Alnus</i>	36	<i>teocote</i> , <i>Q. glabrensce</i>

Fase de Gabinete

Delimitación del Área de estudio

Se llevó a cabo, una revisión bibliográfica que incluyo las cartas cartográficas topográficas del INEGI escala 1:50 000, en formato digital; las cuales cubren la zona de estudio, así mismo como poblados aledaños, las claves de las cartas topográficas son: E14B31, E14B41 y E14B42.

Las imágenes satelitales AVHRR-NOAA, fueron obtenidas de la base de datos del Instituto de Geografía de la UNAM (1996-2006). A partir de la recopilación bibliográfica y cartográfica, se delimitó el área de estudio, usando las cartas topográficas antes mencionadas.

La información de precipitación pluvial se obtuvo de la base de datos en formato digital denominado ERIC (Extracto Rápido de Información Climática), para el periodo del análisis multitemporal 1996 – 2006. Esta información es consultada de 7 estaciones meteorológicas, próximas al PNIPZ. De las cuales, fueron ocupadas 4 estaciones que se encuentran cerca o caen dentro de algún tipo de vegetación de acuerdo, al Inventario Forestal Nacional del 2000 IFN_2000. Los datos fueron capturados y procesados mediante una hoja de cálculo EXCELL; donde fue graficada la precipitación media mensual. Para ello debió establecerse periodos de tiempo, divididos en temporada de lluvia y secas, con el fin de comparar los datos de precipitación con el valor arrojado del NDVI de las imágenes, y así poder evaluar las relaciones entre ambos parámetros.

Por otra parte se contó, como se menciona en el párrafo anterior con el Inventario Forestal Nacional del 2000 Velásquez A., et al (2001), esto con la finalidad de poder saber el grado de correlación entre los puntos geográficos con respecto al valor que tiene el IFN_2000 para la zona correspondientes a los PNIPZ. La proyección de registro del IFN_2000 corresponde a Cónica Conforme de Lambert para México:

falso este 2000000.00
falso norte 0.00
latitud de proyección al origen latitud 0, 0, 0.00
longitud de meridiano central -102, 0, 0.00
latitud de estándar paralelo,
paralelo 1: 17, 30, 0.00
Paralelo 2: 29, 30, 0.00
Datúm Clarke 1866.

Fase de Laboratorio

Obtención de las imágenes satelitales

Se trabajaron las imágenes de la siguiente manera:

Tabla 2. Años procesados y tipo de satélite utilizado.

SATELITE	SENSOR	AÑO(S)
NOAA 14	AVHRR	1996 al 2000
NOAA 12, 14 Y 16	AVHRR	2001
NOAA 16	AVHRR	2002 al 2003
NOAA 17	AVHRR	2006

Estas imágenes fueron, procesadas del paso del satélite entre la 19:00 y 21:00 hrs. GMT; obtenidas del Laboratorio de Análisis Geoespacial (LAGE), Instituto de Geografía (IGg), de la UNAM.

Cada imagen fue procesada de manera semi automatizada mediante el programa Terascan, para procesamiento de imágenes, para sistemas operativos UNIX.

Cálculo del NDVI

Para calcular el índice de vegetación NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) se utilizaron los canales 1 y 2 (visible e infrarrojo cercano) son registradas con los siguientes parámetros:

Proyección cónica de Lambert para México
falso este 2000000.00
falso norte 0.00
latitud de proyección al origen 0, 0, 0.00
longitud de meridiano central -102, 0, 0.00
latitud paralelo 1: 17, 30, 0.00
paralelo 2: 29, 30, 0.00
Datúm Clarke 1866
columnas 3000
líneas 2500
tamaño de píxel 1.1132 Km².

A partir de la recopilación de imágenes de 1996 al 2006, se seleccionaron aquellas imágenes con nula o poca nubosidad, para la obtención de los Compuestos Libres de Nubes (CLN) Holben, (1986). La imagen obtenida se delimito con el polígono de la zona de estudio, a la cual se denominó **ROI** (Region of interes). Estas imágenes fueron re proyectadas con los siguientes parámetros:

Proyección UTM
falso este 506787.5570
falso norte 2164856.8790
Datúm WGS84
columnas 46
líneas 72
tamaño de píxel 1.1132 Km²

Intersección de datos (campo y NDVI)

Los puntos de muestreo en campo, fueron convertidos a ROI'S, por medio del programa ENVI 4.0, Manual ENVI 4.0, (2003). Y se traslaparon con cada una de las imágenes procesadas con la finalidad de extraer de manera puntual el valor máximo del NDVI de cada punto en cada año específico, lo que permitió dar una idea del estado de la vegetación para la zona a lo largo del periodo multitemporal.

Selección de datos Climáticos

Finalmente, se sobrepuso los puntos de las estaciones meteorológicas más cercanas (formato shapefile), o dentro de la zona de estudio, las estaciones utilizadas fueron: Achichipico, Col. Avila camacho, Coatepec, San Luis Ameca, y se extrajo el correspondiente valor del NDVI sobreponiendo, las regiones de interés sobre las imágenes AVHRR. De esta manera se graficó, el valor máximo de NDVI en Excel, contra el valor mensual de precipitación pluvial extraído en la base de datos del Programa ERIC, correspondientes a las cuatro estaciones meteorológicas utilizadas.

Resultados y Análisis

Se procesaron 1809 Imágenes de satélite, de 1996 al 2006, obteniendo un total de 190 cortes de imágenes, a partir de los compuesto libres de nubes, reproyectadas de CCL a UTM para realizar el análisis de interpolación con un total de 68 puntos de muestreo. Estos puntos representan un total de 17 comunidades y asociaciones vegetales del parque, sin contar lo que es el asentamiento humano y el área sin vegetación aparente.

Variaciones y cambios en la vegetación

La figura 5 representa la respuesta espectral del NDVI, comparando dos años simultáneamente 1996 y el 2006, se muestra la poligonal del parque. Por un lado en febrero de 1996, se marca claramente, entre las coordenadas 530,000 a 550,000 de longitud E y 2,160,000 de latitud N, en tonos rojo intenso, el estado fenológico óptimo de una vegetación sana y nula de estrés hídrico.

La imagen de febrero 06 muestra que en las mismas coordenadas la respuesta espectral de la vegetación es más heterogénea, por lo tanto en un estado de estrés hídrico importante para las comunidades de pino-encino, además se encuentran pequeños píxeles aislados, en tonos rojos que corresponden a Agricultura de Temporal. Por otro lado hacia la parte NE de la imagen existe un manchón con buena respuesta espectral del NDVI, teniendo dos tipos de vegetación presentes Bosque de Pino y Bosque de Oyamel. Mientras que en la cara SE del Popocatepetl existe también un manchón impórtate de Bosque de Pino en buen estado fitosanitario.

El análisis de Julio 96 y Julio de 06, ya en periodo de lluvias, para el primer caso prevalece un nivel alto del NDVI, para la vegetación de Pino y algunos manchones de Agricultura de Temporal con Cultivos Permanentes, no así sucede en julio 06 ya que en ese año se observa que lo que se mantiene fenológicamente más activo es la Agricultura de temporal y decrecen los valores del índice en los otros tipos de Bosques y asociaciones, los tonos azules indican gran parte de píxeles de vegetación de Pino, con una baja importante del NDVI.

FES ZARAGOZA

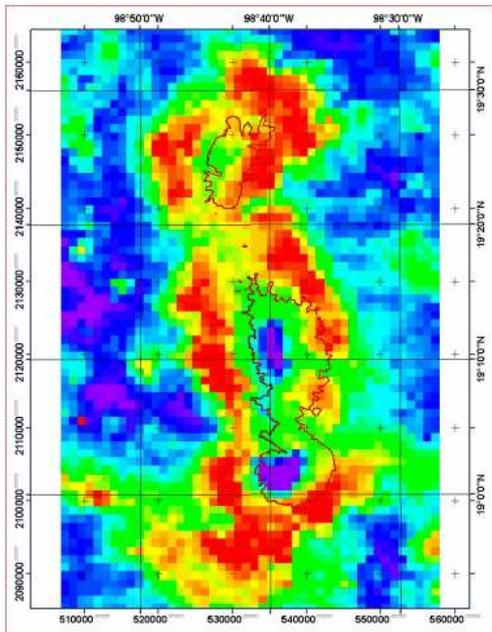


Imagen Febrero 1996

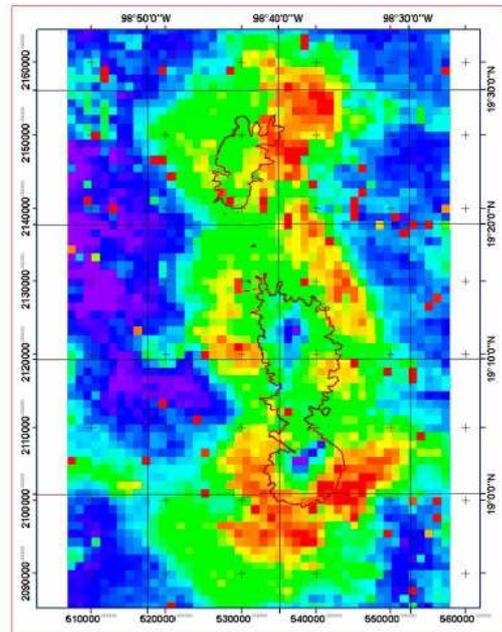


Imagen Febrero 2006

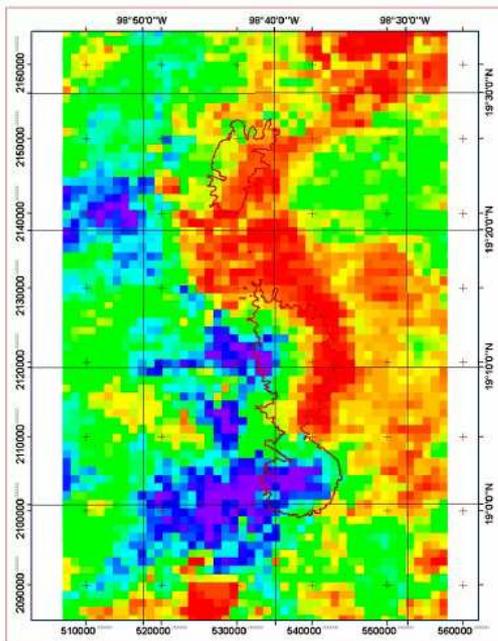


Imagen Julio 1996

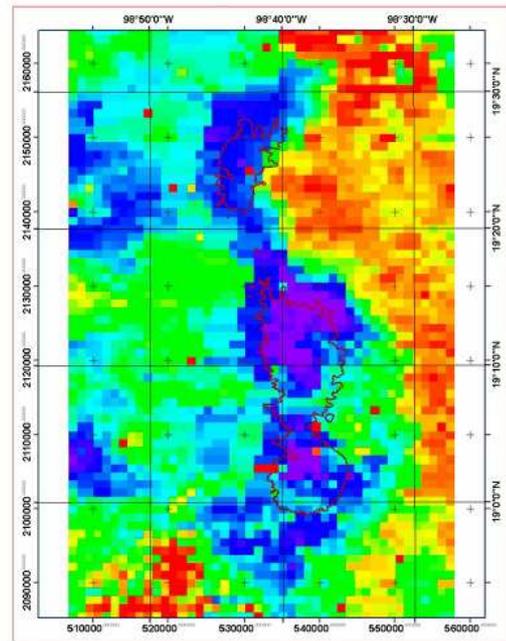


Imagen Julio 2006

Figura 5. Variación y Cambios en la Vegetación del PNIPZ representación 1996 y 2006 época de lluvia y de secas

Donde los tonos azules representan una pobre respuesta espectral, mientras que los tonos verde amarillo indican una respuesta espectral media, los tonos rojizos son aquellos que manifiestan una respuesta espectral máxima.

En el mapa de la figura 6 se observa que la gran mayoría en los puntos de muestreo, se encuentran hacia la parte centro del mapa, los cuales a su vez no todos están dentro de la cota del parque de los 3600 msnm. Por otro lado se muestra que el tipo de cobertura predominante en la zona circundante es la Agricultura, a diferencia de los valores arrojados en la tabla 3 con respecto al Bosque de Pino donde este predomina en el parque con más del 55% el cual corresponde a 15921 HA.

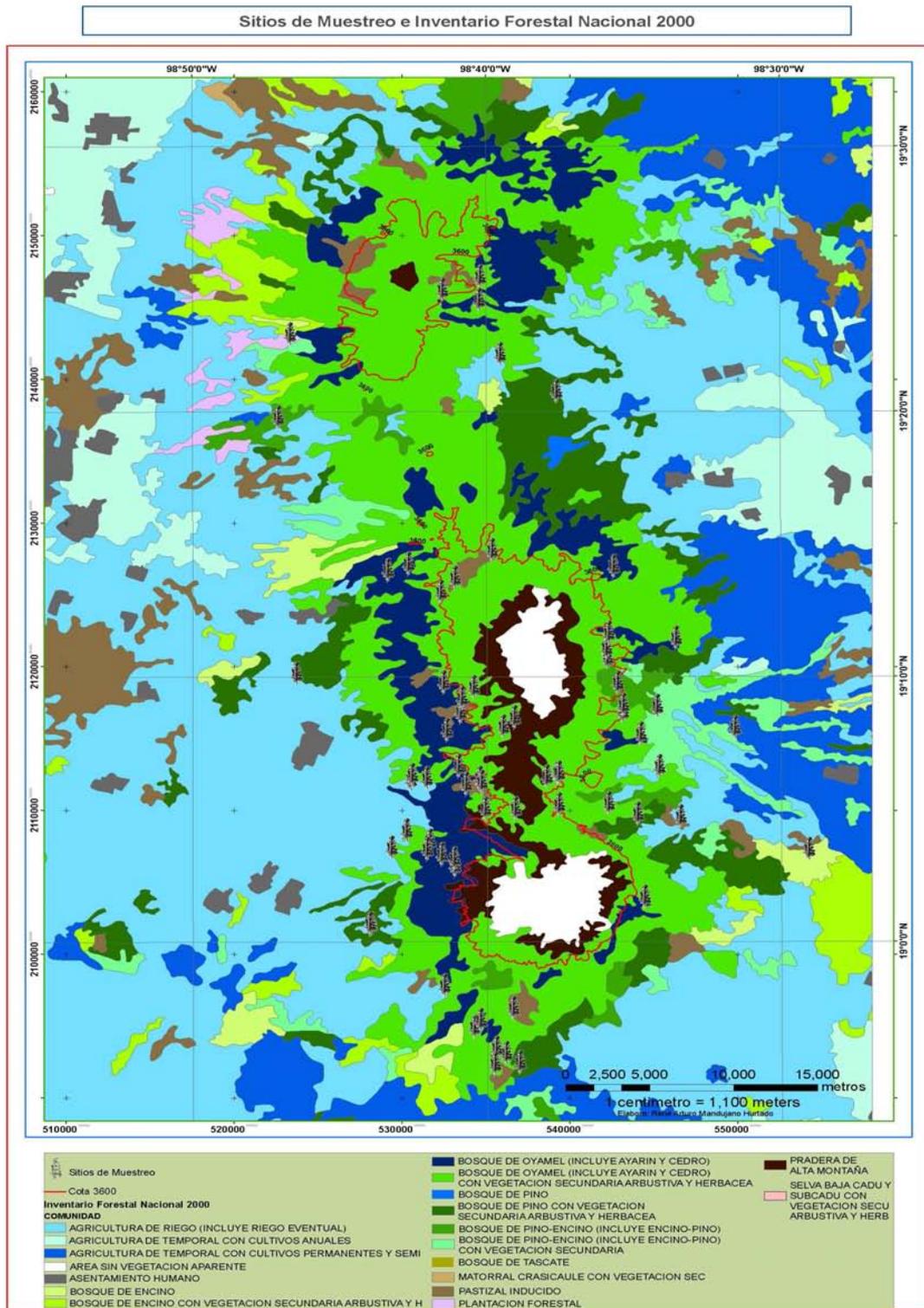


Figura 6. Mapa de Puntos de Muestreo y Tipos de Vegetación de acuerdo al Inventario Forestal Nacional del 2000 (IFN).

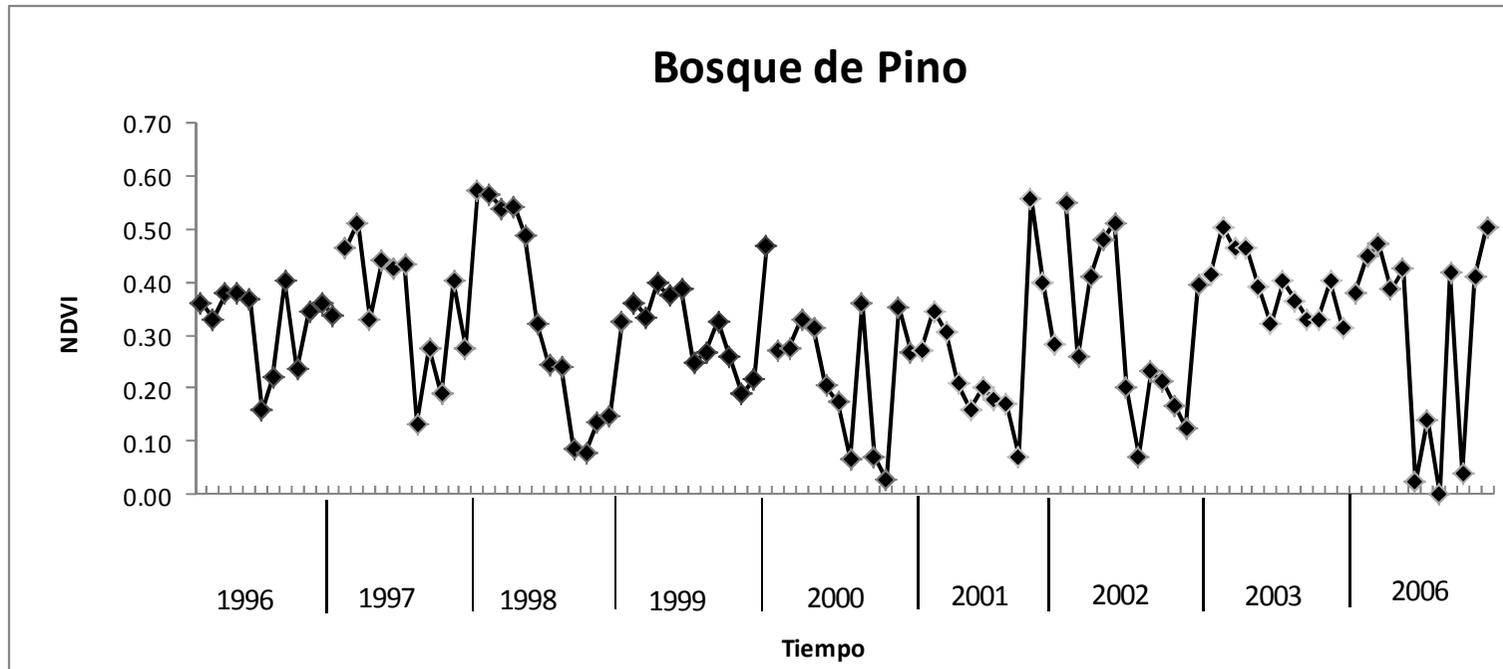
La tabla 3 muestra, el área y porcentaje ocupada por tipo de vegetación del PNIPZ, de acuerdo con el IFN00. Se destaca que la comunidad de Bosque de Pino ocupa el **55%** lo que es más de la mitad del área en el parque. En menor proporción la Pradera de Alta Montaña con el **22%** lo que es igual a **6463 HA**, el Área sin vegetación Aparente con el **18%** siendo este un valor preocupante pues ocupa un total de **5287 HA**, con el **3%** el Pastizal Inducido, y con menos del **1%** el Bosque de Oyamel (Incluye Ayarin y Cedro), Bosque de Pino con Vegetación Secundaria arbustiva y Herbácea y Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino) con Vegetación secundaria.

COMUNIDAD	Área en HA	% Respecto al Total
AREA SIN VEGETACION APARENTE	5287	18
BOSQUE DE OYAMEL (INCLUYE AYARIN Y CEDRO)	433	1
BOSQUE DE PINO	15921	55
BOSQUE DE PINO CON VEGETACION SECUNDARIA ARBUSTIVA Y HERBACEA	252	1
BOSQUE DE PINO-ENCINO (INCLUYE ENCINO-PINO) CON VEGETACION SECUNDARIA	6	0
PASTIZAL INDUCIDO	849	3
PRADERA DE ALTA MONTAÑA	6463	22
ÁREA TOTAL y % TOTAL	29212	100

Tabla 3. Tipos de Vegetación de acuerdo con el IFN_2000.

El área que ocupa el Asentamiento Humano hacia las confluencias del Parque es considerable, dado que ocupa un porcentaje extenso e incluso llega a ser de carácter alarmante con una superficie del **8.45%**, esto observándolo, desde un punto de vista social y contrastándolo, con respecto al porcentaje que ocupa además las áreas de agriculturas con más del **70%**, dando así un panorama de cambio de uso de suelo significativo.

El entorno del PNIPZ puede ser apreciado también en la figura 6, que aunque no muestra la totalidad de las cuencas que lo rodean, nos pueden dar una idea de las condiciones que imperan al rededor de esta área protegida. De esta forma podemos notar que el PNIPZ es una isla de vegetación natural rodeada de un entorno modificado por el hombre.



Gráfica 1. Análisis del NDVI Sitio 3, Bosque de Pino periodo 1996-2006.

Bosque de Pino

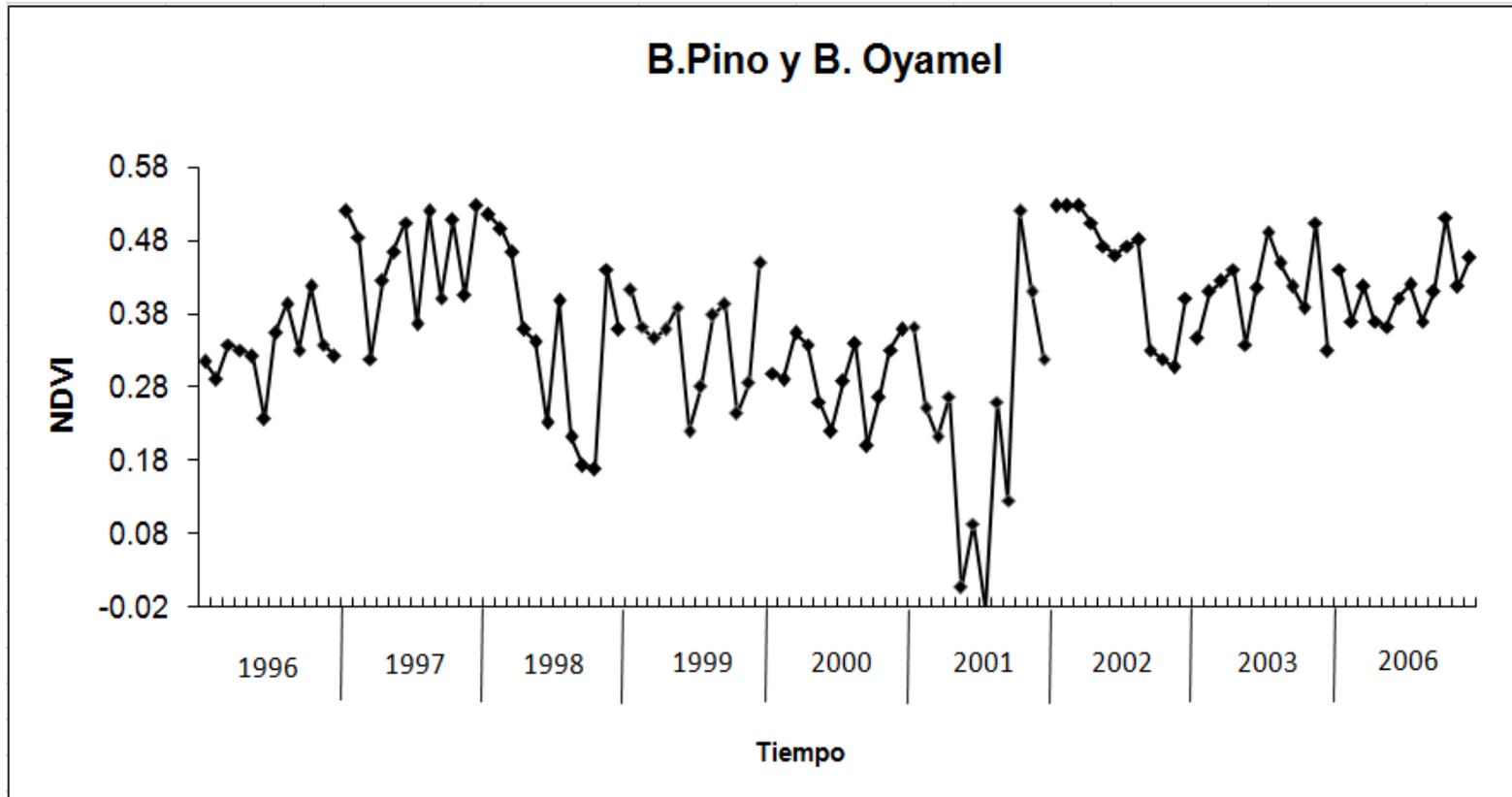
Tabla 4. Estadística básica del NDVI para Bosque de Pino periodo 1996-2006.

Año	Media	Moda	Varianza	Máximo	Mínimo
1996	0.32	0.36	0.01	0.40	0.16
1997	0.37	0.28	0.02	0.57	0.13
1998	0.31	N/A	0.03	0.56	0.08
1999	0.32	N/A	0.01	0.47	0.19
2000	0.23	N/A	0.01	0.36	0.03
2001	0.26	N/A	0.02	0.56	0.07
2002	0.30	N/A	0.03	0.55	0.07
2003	0.39	0.46	0.00	0.50	0.31
2006	0.30	N/A	0.04	0.50	0.00

En la gráfica 1 se muestra el valor promedio de NDVI mensual para las comunidades de bosque de pino, de 1996 al 2006, se observan variaciones máximas y mínimas que se repiten, a lo largo de todo el periodo.

Para el periodo de lluvias que oscila entre mediados de mayo y finales de octubre de los años 98, 00, 02 y 04, se puede observar en la gráfica, que hay una notoria baja en el índice de vegetación, para los meses de septiembre y octubre, lo que puede hacer pensar un probable incendio, al corroborarlo con el trabajo de campo dentro de la tabla de atributos del shapefile, nos indica que no hay presencia en campo del mismo.

Lo que nos lleva a la resolución de que posiblemente un causal sea la presencia de nubes al momento de analizar el CLN.



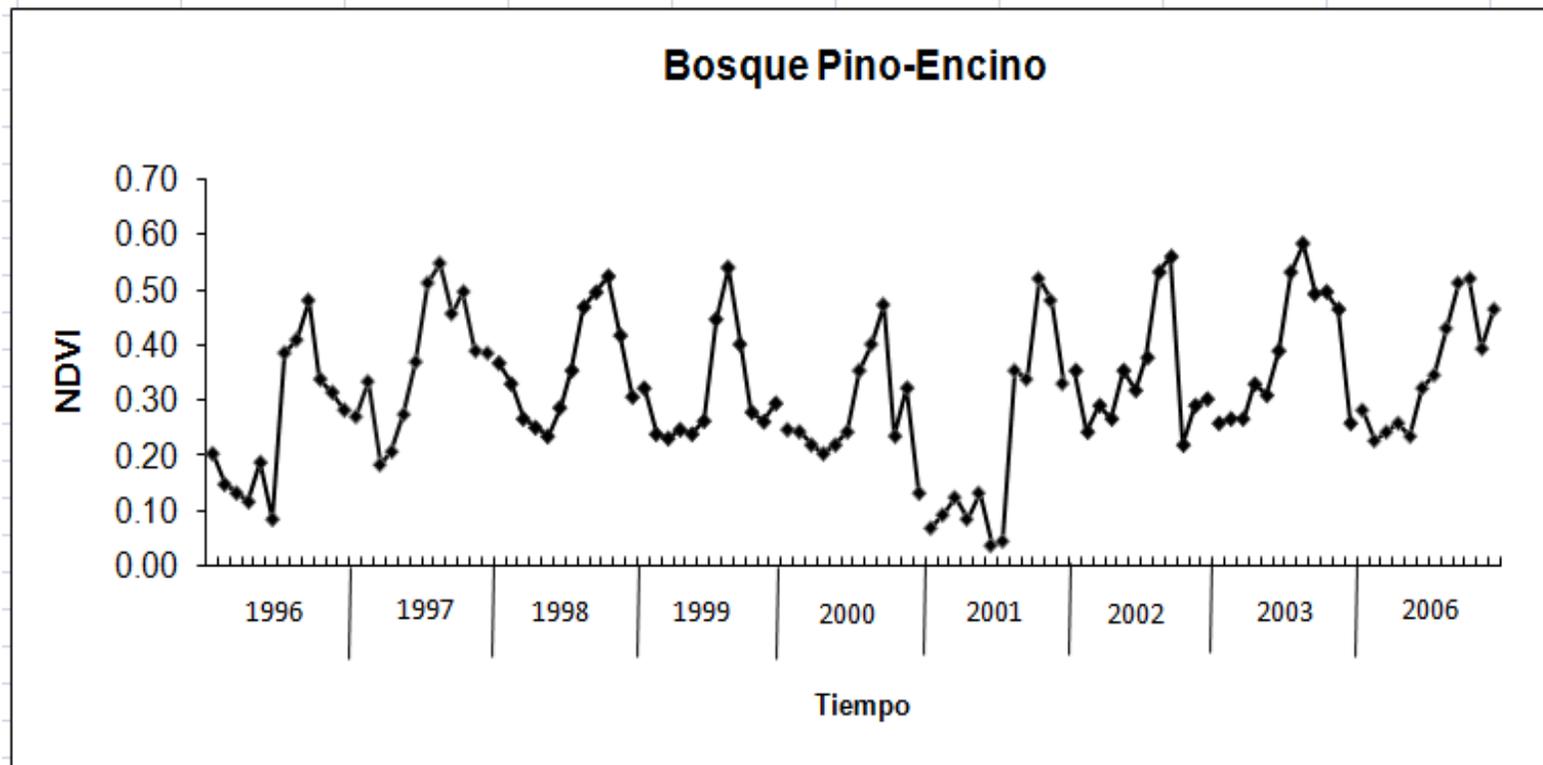
Gráfica 2. Análisis del NDVI Sitio 26, Bosque de Pino y Bosque de Oyamel periodo 1996-2006

Bosque de Pino y Oyamel

Tabla 5. Estadística básica del NDVI para Bosque de Pino y Bosque de Oyamel periodo 1996-2006.

Año	Media	Moda	Varianza	Máximo	Mínimo
1996	0.33	0.34	0.00	0.42	0.24
1997	0.45	0.52	0.00	0.53	0.32
1998	0.35	0.36	0.02	0.51	0.17
1999	0.34	N/A	0.00	0.45	0.22
2000	0.30	N/A	0.00	0.36	0.20
2001	0.23	N/A	0.03	0.52	-0.02
2002	0.44	0.53	0.01	0.53	0.31
2003	0.41	N/A	0.00	0.50	0.33
2006	0.41	0.37	0.00	0.51	0.36

En la gráfica 2 se observa que el valor de los meses de mayo a julio del año 2001 presenta valores bajos. Esto es causado por la carencia de pixeles libres de nubes para el periodo.



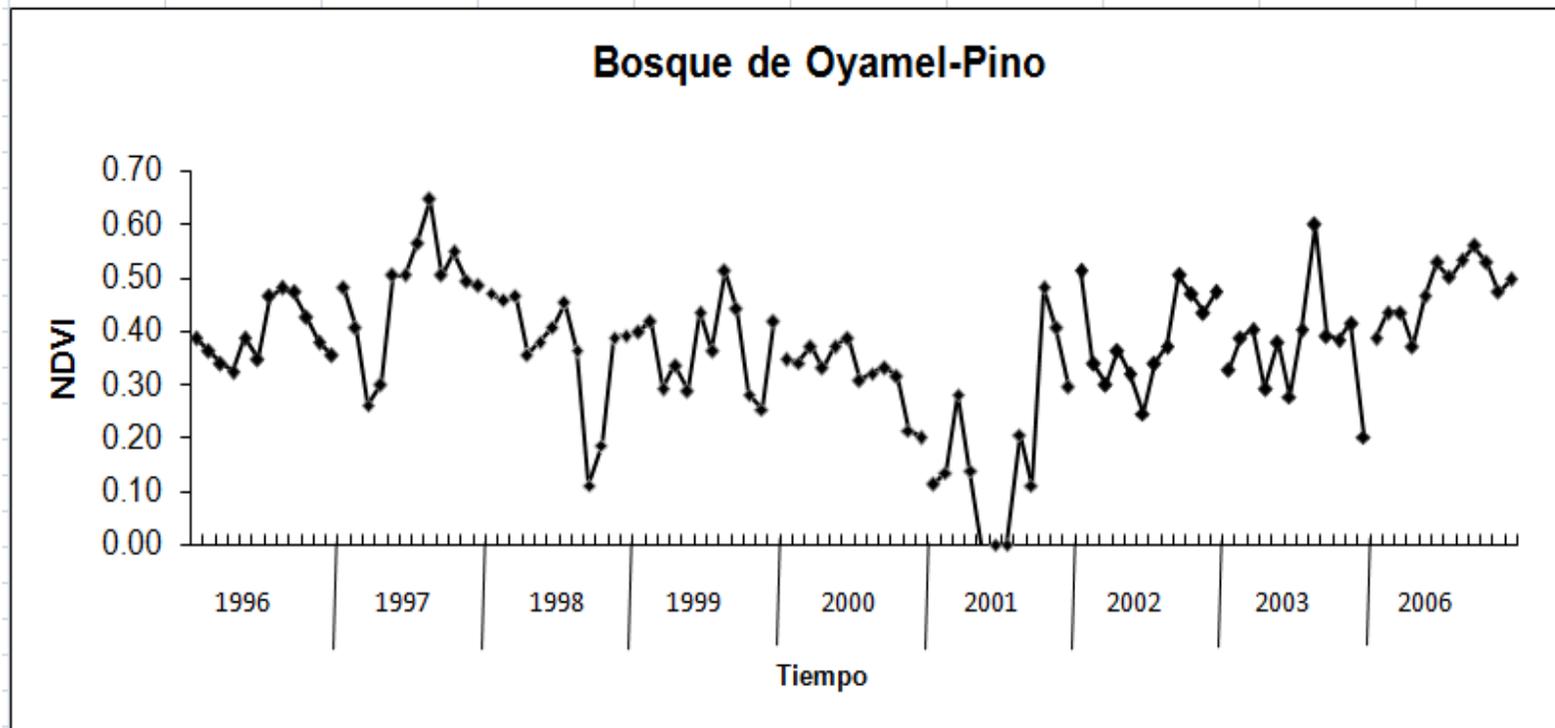
Gráfica 3. Análisis del NDVI Sitio 14, Bosque de Pino-Encino periodo 1996-2006

Bosque de Pino-Encino

Tabla 6. Estadística básica del NDVI para Bosque de Pino-Encino periodo 1996-2006.

Año	Media	Moda	Varianza	Máximo	Mínimo
1996	0.26	N/A	0.02	0.48	0.09
1997	0.37	N/A	0.01	0.55	0.19
1998	0.36	N/A	0.01	0.52	0.24
1999	0.31	0.24	0.01	0.54	0.23
2000	0.28	0.24	0.01	0.47	0.13
2001	0.22	N/A	0.03	0.52	0.04
2002	0.34	0.35	0.01	0.56	0.22
2003	0.39	0.27	0.01	0.58	0.26
2006	0.35	N/A	0.01	0.52	0.23

En la gráfica 3 se observa una variación estacional en el NDVI. En general los valores más bajos se presentan en los meses de marzo y abril y los más altos en la segunda mitad del año. El caso más marcado constituye el año 2001, donde los valores son aun más bajos en la primera mitad del año. Esto parece reflejar el comportamiento caducifolio de los encinos.



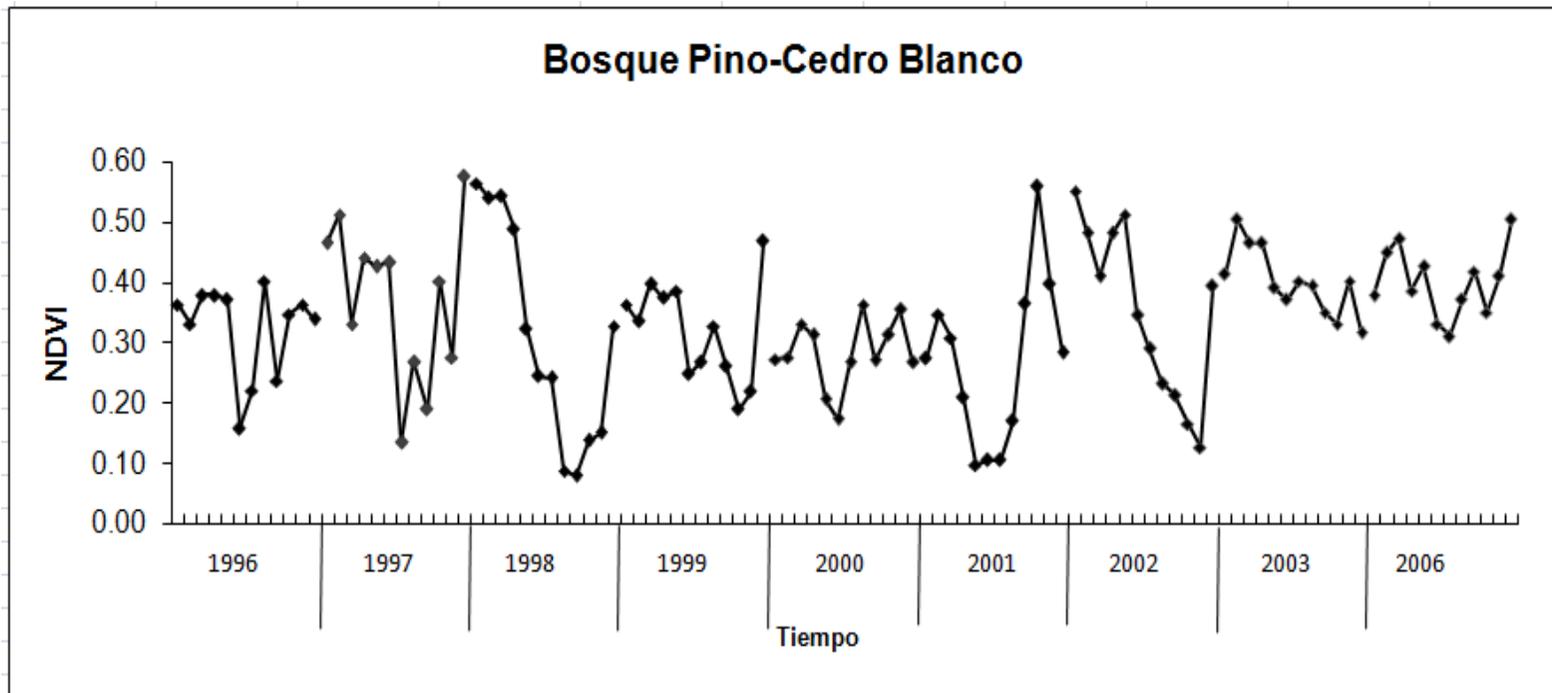
Gráfica 4. Análisis del NDVI Sitio 22, Bosque de Oyamel-Pino periodo 1996-2006.

Bosque de Oyamel-Pino

Tabla 7. Estadística básica del NDVI para Bosque de Oyamel-Pino periodo 1996-2006.

Año	Media	Moda	Varianza	Máximo	Mínimo
1996	0.39	0.39	0.00	0.48	0.32
1997	0.47	0.50	0.01	0.65	0.26
1998	0.37	N/A	0.01	0.47	0.11
1999	0.37	0.42	0.01	0.51	0.25
2000	0.32	N/A	0.00	0.39	0.20
2001	0.18	0.00	0.03	0.48	-0.02
2002	0.39	0.34	0.01	0.51	0.24
2003	0.37	0.40	0.01	0.60	0.20
2006	0.47	0.43	0.00	0.56	0.37

En la gráfica 4 se observa una baja del NDVI para 1998 en los meses de julio a agosto ocasionado por un retraso en la respuesta fotosintética, aunque también puede ser debido a patrones de nubosidad o que en ese año fue muy caluroso debido a factores de variabilidad climática, por otro lado el año 2001, nuevamente presenta un declive del NDVI, debidamente por cuestiones a fallas en el sensor del AVHRR.



Gráfica 5. Análisis del NDVI Sitio 23, Bosque de Pino-Cedro Blanco periodo 1996-2006.

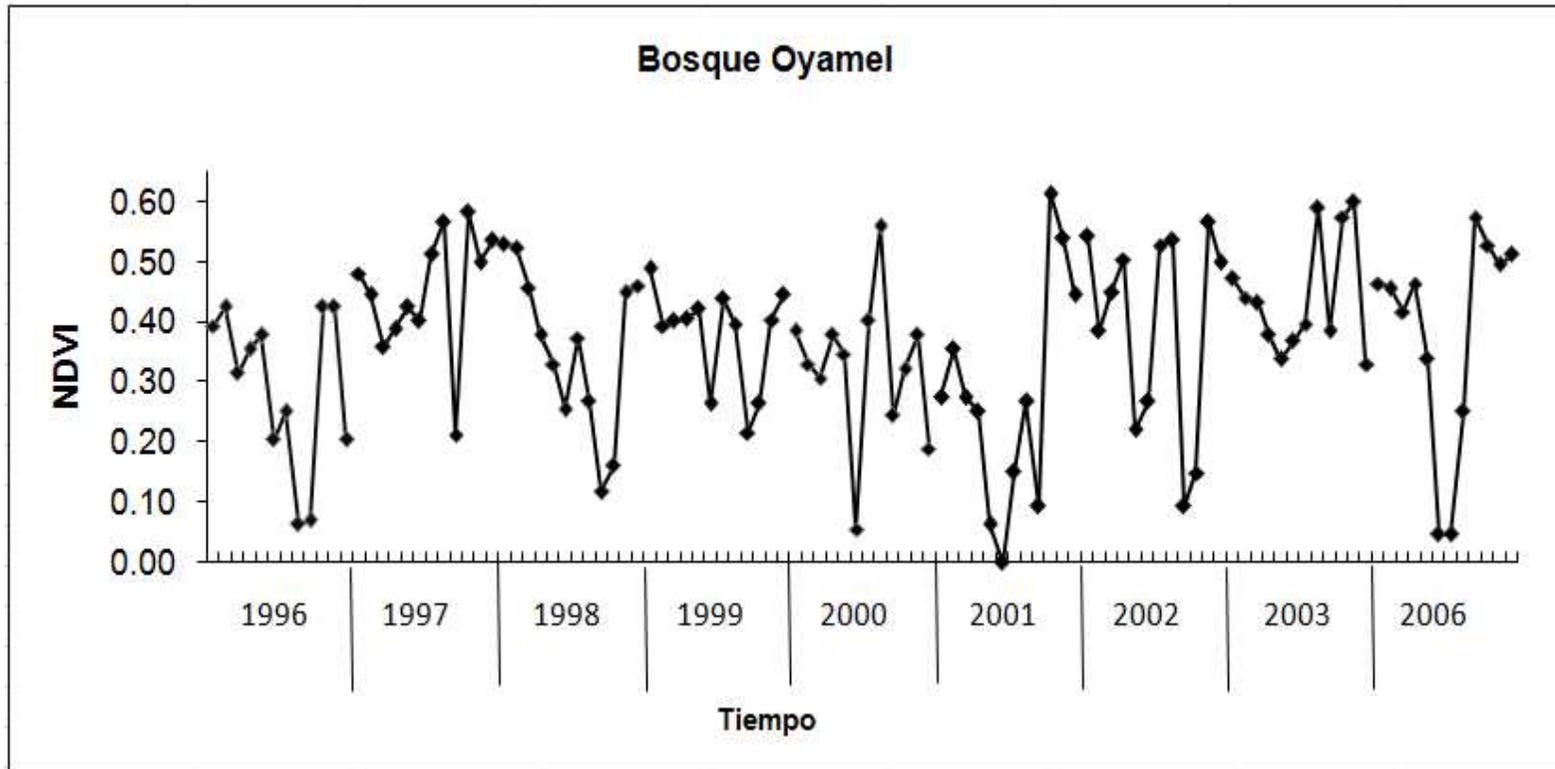
Bosque Pino-Cedro Blanco

Tabla 8. Estadística básica del NDVI para Bosque Pino-Cedro Blanco periodo 1996-2006.

Año	Media	Moda	Varianza	Máximo	Mínimo
1996	0.32	0.36	0.01	0.40	0.16
1997	0.37	N/A	0.02	0.57	0.13
1998	0.31	N/A	0.03	0.56	0.08
1999	0.32	N/A	0.01	0.47	0.19
2000	0.28	0.27	0.00	0.36	0.17
2001	0.27	0.10	0.02	0.56	0.10
2002	0.35	N/A	0.02	0.55	0.13
2003	0.40	0.46	0.00	0.50	0.31
2006	0.40	N/A	0.00	0.50	0.31

En la gráfica 5 se observa que en el caso de Bosque de Pino y Cedro Blanco, para el año de 1998 en los meses de agosto a noviembre, hay una baja del NDVI a pesar de encontrarse en el periodo de lluvias, sin embargo para 1999 en el primer semestre se incrementa notoriamente los valores del índice, a lo que este caso en particular hay un corrimiento en cuanto a la respuesta de actividad fotosintética.

Con respecto a los años 2001 y 2002 en Mayo a Agosto del primer año mencionado, hay una baja del NDVI. En el siguiente año incrementa en el primer semestre los valores del índice, antes de volver a decaer en el periodo de lluvias; sin embargo para los dos años subsecuentes se mantiene los valores notablemente altos y constantes a lo largo de cada uno.



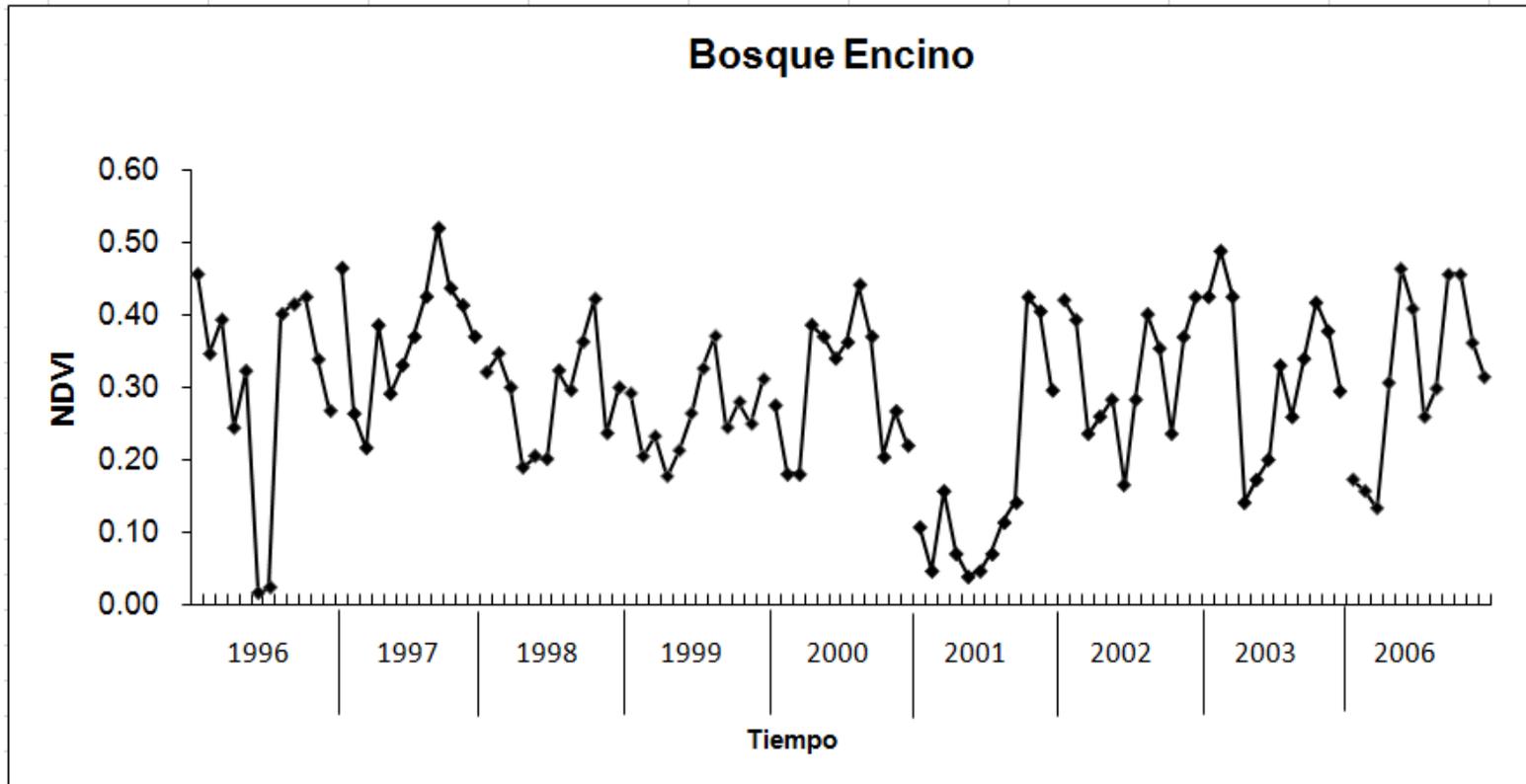
Gráfica 6. Análisis del NDVI Sitio 8, Bosque de Oyamel periodo 1996-2006.

Bosque de Oyamel

Tabla 9. Estadística básica del NDVI para Bosque de Oyamel periodo 1996-2006.

Año	Media	Moda	Varianza	Máximo	Mínimo
1996	0.29	0.43	0.02	0.43	0.06
1997	0.45	N/A	0.01	0.58	0.21
1998	0.36	N/A	0.02	0.53	0.12
1999	0.38	0.26	0.01	0.49	0.22
2000	0.32	0.38	0.02	0.56	0.06
2001	0.28	0.28	0.04	0.61	0.00
2002	0.40	N/A	0.03	0.57	0.09
2003	0.44	N/A	0.01	0.60	0.33
2006	0.38	0.46	0.03	0.57	0.05

En la gráfica 6 se observa que en el año 1996 en agosto y septiembre los valores del índice están bajos, para el mes de julio del 2000 nuevamente el valor prevalece en estos rangos, ya para el 2001 de mayo a septiembre los valores están inclusive en 0, donde se genera nuevamente el patrón o fenómeno que se ha venido mencionando en las demás comunidades vegetales analizadas. Para el 2006 en junio y julio se presenta este decaimiento del índice pero este caso es probable la aparición abundante de nubosidad en los píxeles al procesar las imágenes. Aunque también analizando el sitio 8 del muestreo en campo de Moncada, (2007), en su tabla de atributos menciona que dicha comunidad vegetal están en recuperación por lo que valores bajos del NDVI, haciendo a un lado el caso particular del 2001, aclaran que fenológicamente la vegetación puede presentar poca actividad fotosintética, ocasionando que la reflectancia aumente en las regiones del azul y el rojo como en el verde y disminuya la del infrarrojo.



Gráfica 7. Análisis del NDVI sitio 32, Bosque de Encino periodo 1996-2006

Bosque de Encino

Tabla 10. Estadística básica del NDVI para Bosque de Encino periodo 1996-2006.

Año	Media	Moda	Varianza	Máximo	Mínimo
1996	0.30	N/A	0.02	0.46	0.02
1997	0.37	0.37	0.01	0.52	0.22
1998	0.29	0.30	0.01	0.42	0.19
1999	0.26	N/A	0.00	0.37	0.18
2000	0.30	0.18	0.01	0.44	0.18
2001	0.16	0.05	0.02	0.43	0.04
2002	0.32	0.24	0.01	0.43	0.17
2003	0.32	0.43	0.01	0.49	0.14
2006	0.32	0.46	0.01	0.46	0.13

En la gráfica 7 para el caso del 1996, en particular los meses junio y julio, presentan un claro descenso en los valores del NDVI.

Se vuelve a manifestar un patrón de declive en los valores para el año 2001 y se observa una recuperación importante para los tres últimos meses del periodo, lo que permite relacionarlo con una baja de precipitación pluvial en la zona o un corrimiento en la respuesta espectral para este año en cuanto a la temporada de sequía a la de lluvia.

La figura 7 mapa con la distribución de las siete estaciones meteorológicas, y su cercanía hacia la confluencia entre el PNIPZ. Y los tipos de vegetación circundantes en donde se encuentra dicha estación, de acuerdo al Inventario Forestal Nacional del 2000.

FES ZARAGOZA

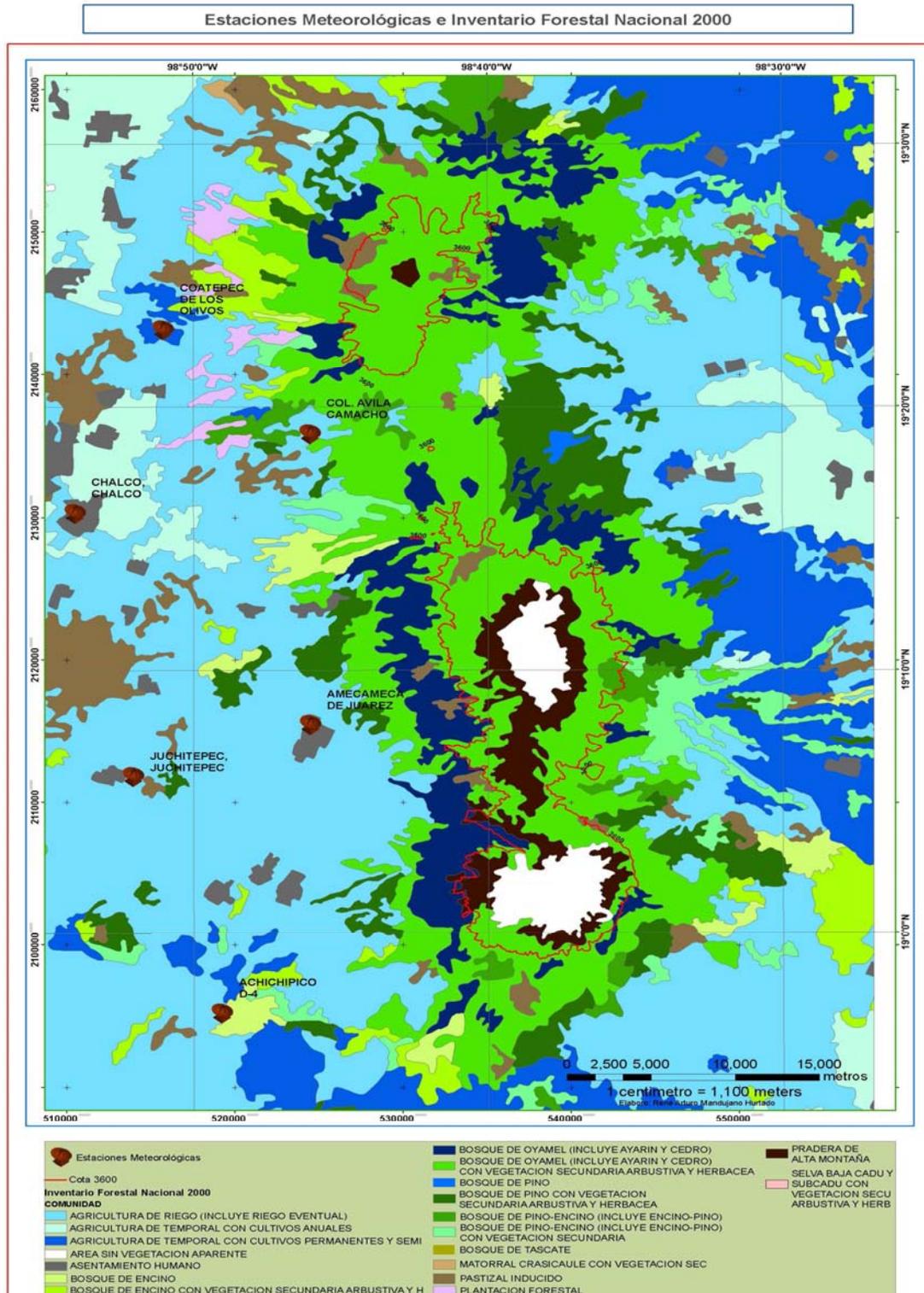
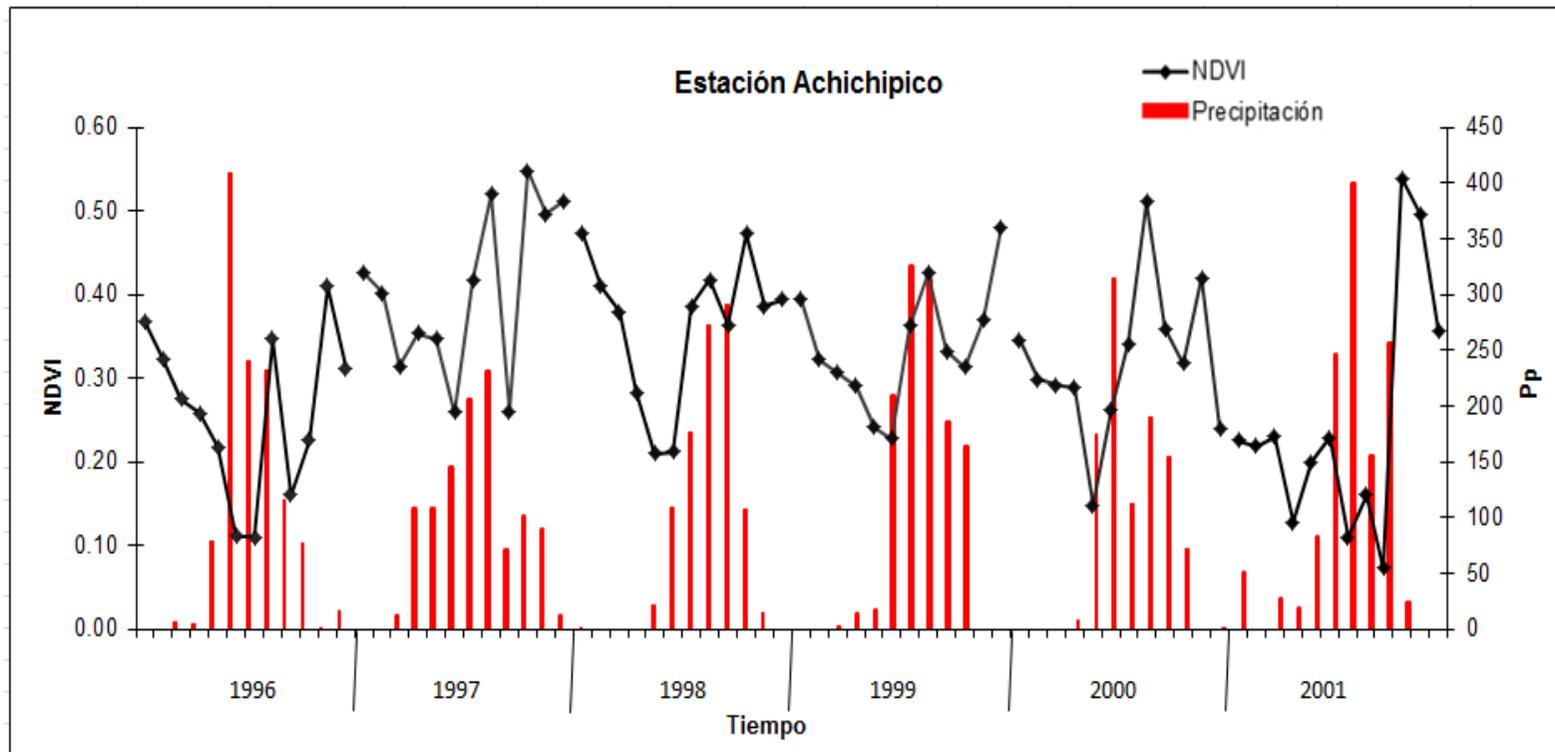
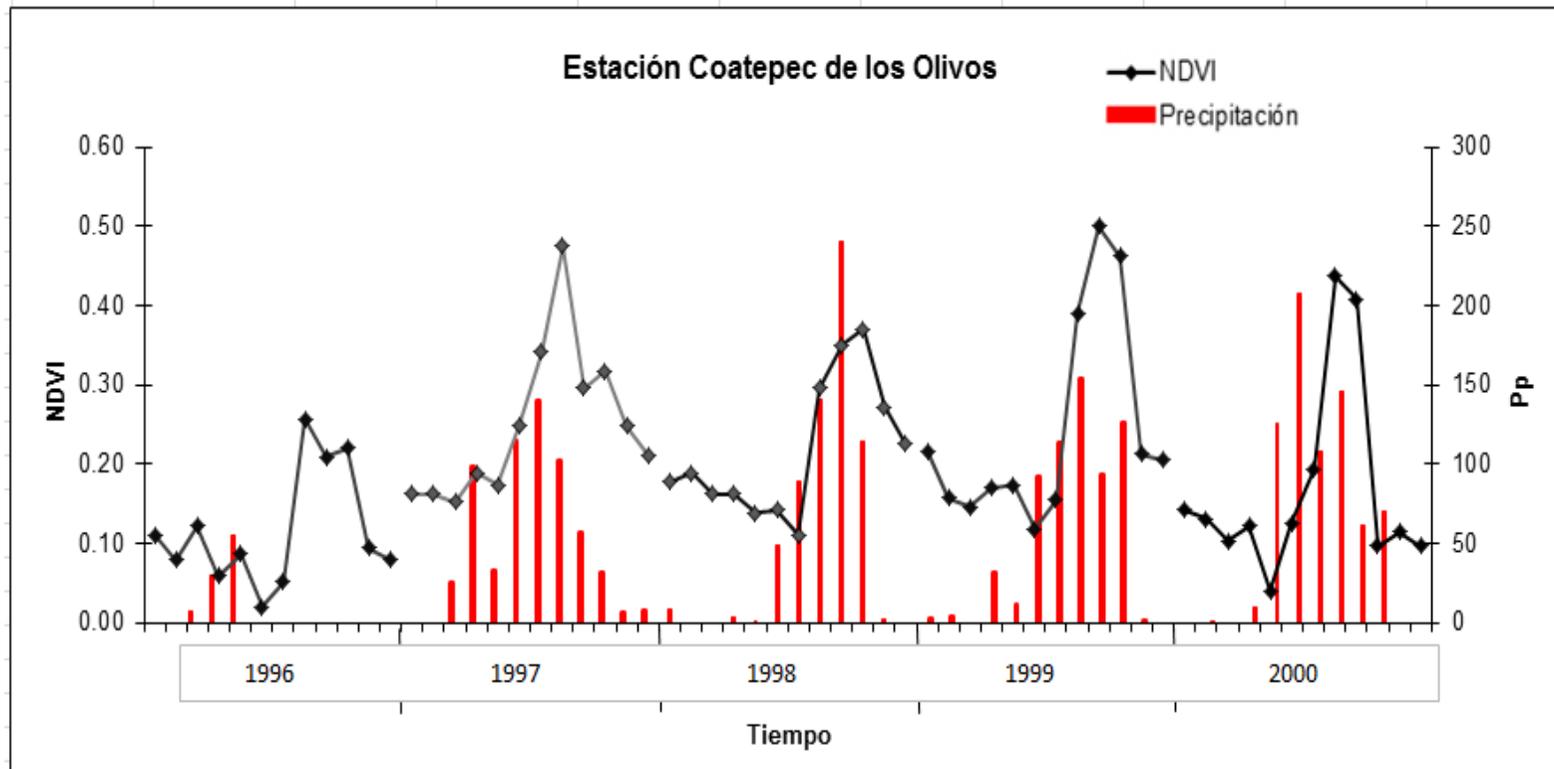


Figura 7. Mapa de Estaciones Meteorológicas y Tipos de Vegetación de acuerdo al Inventario Forestal Nacional del 2000 (IFN).



Gráfica 8. Análisis del NDVI del Bosque de Encino contra la Precipitación pluvial, Estación Achichipico

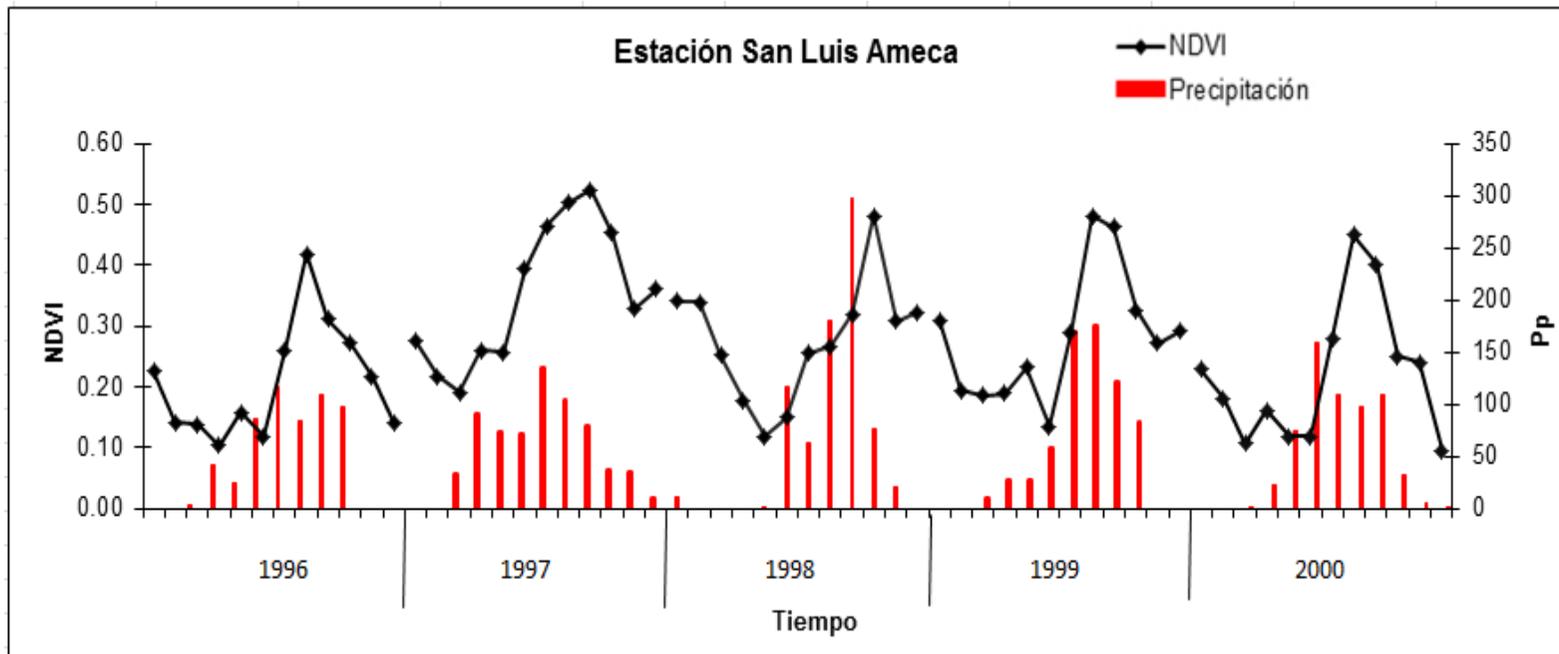
En la gráfica 8 se describe que existe un desfase temporal entre los espectros de NDVI y los datos de precipitación pluvial. Solo para el año 2001 presenta el patrón, en donde los valores del NDVI se presentan por debajo de lo esperado tal y como se observa en los años previos, por otro lado los valores de precipitación son altos de los meses de julio a septiembre.



Gráfica 9. Análisis del NDVI para Vegetación Agricultura de Temporal con Cultivos Permanentes y Semipermanentes contra la Precipitación pluvial, Estación Coatepec de los Olivos

En la gráfica 9 como se mencionó en la gráfica anterior el desfase temporal entre los espectros del índice de vegetación y los datos de la precipitación pluvial, se puede deber a diversos factores, por ello la respuesta a nivel espectral en los meses de lluvia, no es la esperada con respecto al cálculo del índice de vegetación.

En el periodo 96-00 de la estación Coatepec, en el año 96 con lo que respecta a los datos de precipitación pluvial no hay datos para los doce meses del año solamente para el primer semestre, con lo que concierne al índice de vegetación para el mismo año vemos que hay un corrimiento en cuanto a la respuesta de fotosintética dado que los picos más altos están, en trimestre de agosto a octubre y posteriormente vuelva decaer la respuesta espectral.



Gráfica 10. Análisis del NDVI del Bosque de Pino contra la precipitación pluvial, Estación San Luis Ameca

Conclusiones

El estudio multitemporal del PNIPZ, periodo 1996-2006, mediante herramientas de percepción remota permitió evaluar los cambios fenológicos de las diversas comunidades vegetales del parque.

El NDVI es un indicador del estado general de la vegetación, aunque hay muchos más algoritmos que pueden ser complementarios en este tipo de estudios, mediante sensores remotos.

Los datos bajos del NDVI en los diferentes tipos de comunidades vegetales, es debida a la aparición de nubes en los compuestos libres de nubes, por lo que es necesario generar un nuevo algoritmo para la depuración de pixeles, algoritmos como el suavizado, descrito por (Becker *et al* 1988, Tukey 1977) el cuál se tendrían que probar para resolver estos problemas de carácter atmosférico.

El NDVI junto con datos de precipitación pluvial, proporciona información en cuanto al grado de estrés hídrico, para saber con mayor exactitud las semanas donde el pico del NDVI se incrementa, lo cual se presenta marcadamente en el caso de Bosque de Pino, así pues esto permitirá mantener un seguimiento adecuado en el PNIPZ para su protección y mejor manejo de los recursos bióticos.

La respuesta de la vegetación se encuentra desfasada un mes con respecto al comienzo de la temporada de lluvias, parece haber un patrón entre la cantidad de precipitación y la vegetación, es decir a mayor precipitación, mayor NDVI hasta un límite donde aunque aumente esta precipitación el NDVI ya no aumenta. Este patrón no es general de todos los tipos de vegetación y puede variar dependiendo de la composición específica de la zona, por lo que si se estudiaran otros sistemas se tendría que evaluar el tiempo de respuesta.

Si bien el tamaño de pixel del sensor AVHRR, no permite tener detalle para la delimitación de zonas de vegetación o por comunidades de vegetales, al mantener un buen ancho de banda espectral permite mantener un buen sondeo con respecto al índice de vegetación en la región de confluencia al PNIPZ.

La resolución espacial del sensor AVHRR, es apropiada para la detección de cambios en zonas de cultivos, así como la densidad y el vigor de los cultivos y su relación con las variables meteorológicas como les la precipitación.

Bibliografía

- Anderson, G.L., J.D. Hanson y R.H. Hass (1993), "Evaluating Landsat Mapper Derived Vegetation Indices for Estimating Above-Ground Biomass on Semiarid Rangelands", *Remote Sensing of the Environment*, 35 11-27.
- Aronoff, Stan. Geographic Information System: A Management Perspective 1989. WDL Publications. Ottawa, Canada.
- Ball, G. L. (1994). Ecosystem modeling with GIS. *Environmental Management*. Vol. 18, No. 3, pp. 345-349.
- Bartholomé, E. (1988), "Radiometric Measurements and Crop Yield Forecasting. Some Observations Over Millet and Sorghum Experimental Plots in Mali", *International Journal of Remote Sensing*, 9 1522-1539.
- Batista, G.T., Shimaburuko, Y.E. y Lawrence, W. T. 1997. The long term monitoring of vegetation in the Amazonia region of northern Brazil using NOAA-AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing* 8, 3195-3210.
- Becker, R.A., Chambers, J.M & Wilks, A.R (1988). Reed, B.C., J.F. Brown, and D. VanderZee (1994). Measuring phenological variability from satellite imagery. *Journal of Vegetation Science*, 5:703-714.
- Burgan, R., Claver, R.W. y Claver, J.M. 1998. Fuel models and fire potential from satellite and surface observation. *International Journal of Wildland Fire* 8, 159 – 170.
- Cantellano Eliseo, Reconocimiento espacial de los paisajes En: *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*, Primera edición, México, 2007, pp 514
- Chávez C. J. Y N. B. Trigo. (1996), Programa de manejo para el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl. Colección Ecológica y Plantación. UAM Xochimilco. México. 315 pp.
- Chuvieco E. (1990), Fundamentos de Teledetección Espacial, Ediciones Rialp; Madrid. 453 pp.

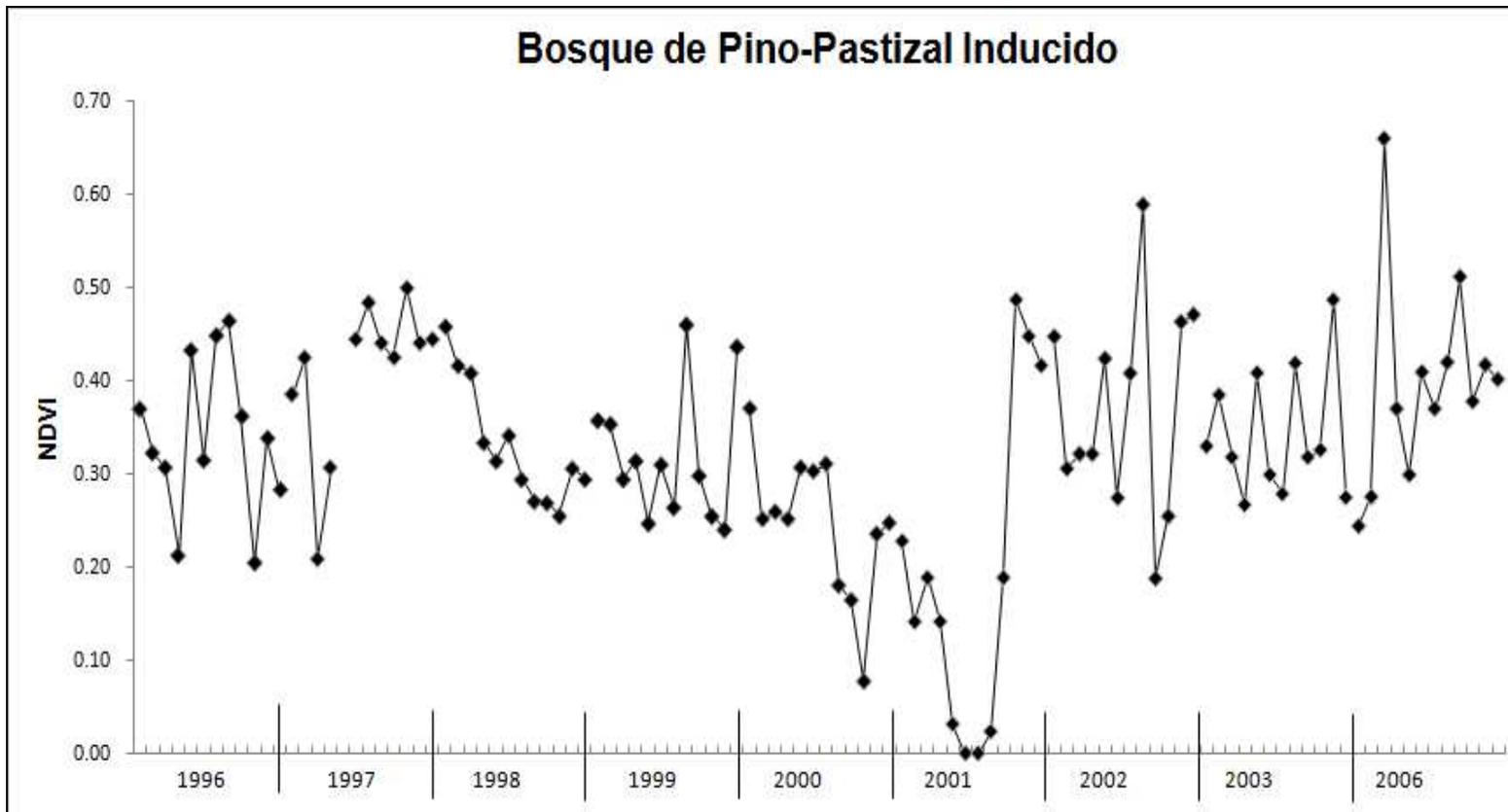
- Chuvieco, E 2000. Fundamentos de Teledetección Espacial. 3a Edición Rialp. Madrid 568pp.
- Ehrlich D. M., D., J, Estes E. y Singh A. (1994), "Applications of NOAA-AVHRR 1 Km. Data for Enviromental Monitoring", *International Journal of Remote Sensing*, 15 145-161.
- García, E. (1981). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köeppen. Instituto de Geografía, UNAM, México.
- García, E. 1986. Apuntes de climatología. UNAM. Quinta edición. México. 155 pp.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Inst. de Geografía UNAM, México.
- Gates, D.M. 1980. Biophysical Ecology, Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin.
- Gilabert, M.A., González-Piqueras, J. y García-Haro, J. 1997. Acerca de los índices de vegetación. *Revista de Teledetección* 8, 35-45.
- Granados R., Gómez G., Reyna T. (2004), Analysis of NOAA-AVHRR-NDVI images for crops monitoring *Journal Remote Sensing*, vol. 25, No 9 1615-1627.
- Holben, B.N. 1986. Characteristics of maximum value composite image from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing* 7, 1417- 1434.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática, 2001. Atlas Nacional del Medio Físico. México.
- Jensen, J.R. (1986). Introductory digital image processing. A remote sensing perspective. Prentice-Hall. EE.UU.. 379 pp.
- Johnston, C. A. (1998). Geographic Information Systems In Ecology. Editorial Blackwell Science Ltd. USA.

- Justice, C.O., Townshend, J.R.G., Holben, B.N. y Tucker, J. 1985. Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data. *International Journal of Remote Sensing* 6, 1271-1318.
- Letona, I.F. (2001 a). Plan de Desarrollo Regional y de Ordenamiento Territorial Sustentable del Área Izta-Popo, Propuesta. Instituto Universitario de Urbanística A .C ., Puebla, Puebla.
- Madrigal, X., 1969 Contribución al conocimiento de la ecología de bosques de Oyamel (*Abies religiosa*) en el Valle de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, México, 18:1-94.
- Manual de ArcInfo Workstation 2006 (Consulta mayo de 2009). Disponible en: Ayuda del Programa.
- Manual de ENVI 4.0 2003 (Consulta mayo de 2009). Disponible en: Ayuda del Programa.
- Manzo Lilia., 2006 Método para Evaluación del Riesgo Local de Incendio Forestal, en Base a Técnicas de Percepción Remota (Doctorado en Ciencias). México DF Universidad Autónoma de México. Pag 132.
- Molina, Isabel C. de. (1984). "Fotointerpretación de Bosques Manejados", Centro Interamericano de Fotointerpretación, Unidad de Ingeniería Forestal y Ecología, Bogotá.
- Moncada Beatriz, Cambio de Tipo de Cobertura Terrestre Mediante Imágenes de Satélite de la Región Iztaccíhuatl – Popocatepetl. (Licenciatura en Biología). México DF. Universidad Nacional Autónoma de México.2007. Pag 86.
- Poveda, Matallana I. C. y Rojas P. Camilo A. (2003). Introducción a los Sistemas De Información Geográfica: Definición de las Necesidades de Usuario. Diplomado en Sistemas de Información Geográfica, FES -Zaragoza, UNAM.

- Quintero-Pérez, J.A., 2009, "definición y origen de los Sistemas de Información Geográfica", capítulo IV en el libro Conceptos de la Geomática en México, Geografía para el siglo XXI, Instituto de Geografía. ISBN 978-607-02,0973-4 Pp 115-147.
- Rasmussen, M. S. (1997), "Operational Yield Forecast Using AVHRR-NDVI Data: Reduction of Environmental and Inter-Annual Variability", *International Journal of Remote Sensing*, 5 1059-1077.
- Reed, B.C., F.J. Brown, D. Vanderzee, T.R. Loveland, J.W. Merchant y D. O. Ohlen (1994), "Measuring Phenological Variability from Satellite imagery", *Journal of Vegetation Science*, 5 703-714.
- Rzedowski, J 1978 Vegetación de México editorial Limusa. México.
- Saunders R.W. and Kriebel K.T., "An improved method for detecting clear sky and cloudy radiances from AVHRR data," *Int. J. Remote Sens.* vol.1.9, pp.123-150, 1988.
- Siebe, C.; R. Jahn y K. Stahr (1996). Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. Publicación especial 4. Sociedad Mexicana de la Ciencia de Suelo A.C. Chapingo, México.
- Sosa, Antonio H. 1951. Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl. México. Puebla. Morelos. Tlaxcala. Secretaría de Agricultura y Ganadería. Dirección General Forestal y de Caza. 415 páginas, más mapas.
- Tucker, C.J. y P. J. Sellers (1986), "Satellite Remote Sensing of Primary Production", *International Journal of Remote Sensing*, 7 1395-1416.
- Tucker, C.J., C.L., Vanpraet, M. J Sharman y G. V. Ittersum (1985), "Satellite Remote Sensing of Total Herbaceous Biomass Production in Senegalese Sahel; 1980-1984", *Remote Sensing of Environment*, 17 123-249.
- Tukey, J.W. (1977). *Exploratory Data Analysis*. Addison-Wesley Publishing Co., Reading, MA.

- Vargas, M. F. (1984), *Parques Nacionales de México y Reservas Equivalentes, Pasado, Presente y Futuro. Grandes Problemas Nacionales. Serie los Bosques de México*, Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM. D.F, 266pp.
- Vargas, M. F. 2000. *Áreas Naturales Protegidas de México con Decretos Federales (1899-2000)*. INE/ RDS/ PNUD. Pág. 334-337, 342.
- Velázquez A., J. F. Mas, J. Díaz-Gallegos R., Mayorga-Saucedo R., Alcántara P. C., Castro R., Fernández T., Bocco G., Ezcurra E. y Palacio J. L., 2001 *Land-use and vegetation patterns and change rates in Mexico*
- Watts, C. y J. A. Saiz Hernández (1996), "Monitoreo del desarrollo de trigo en el valle del Yanqui, Sonora, usando imágenes NOAA-AVHRR", *Investigaciones Geográficas Boletín*, Instituto de Geografía, UNAM, México, 33 51-61.

Anexos

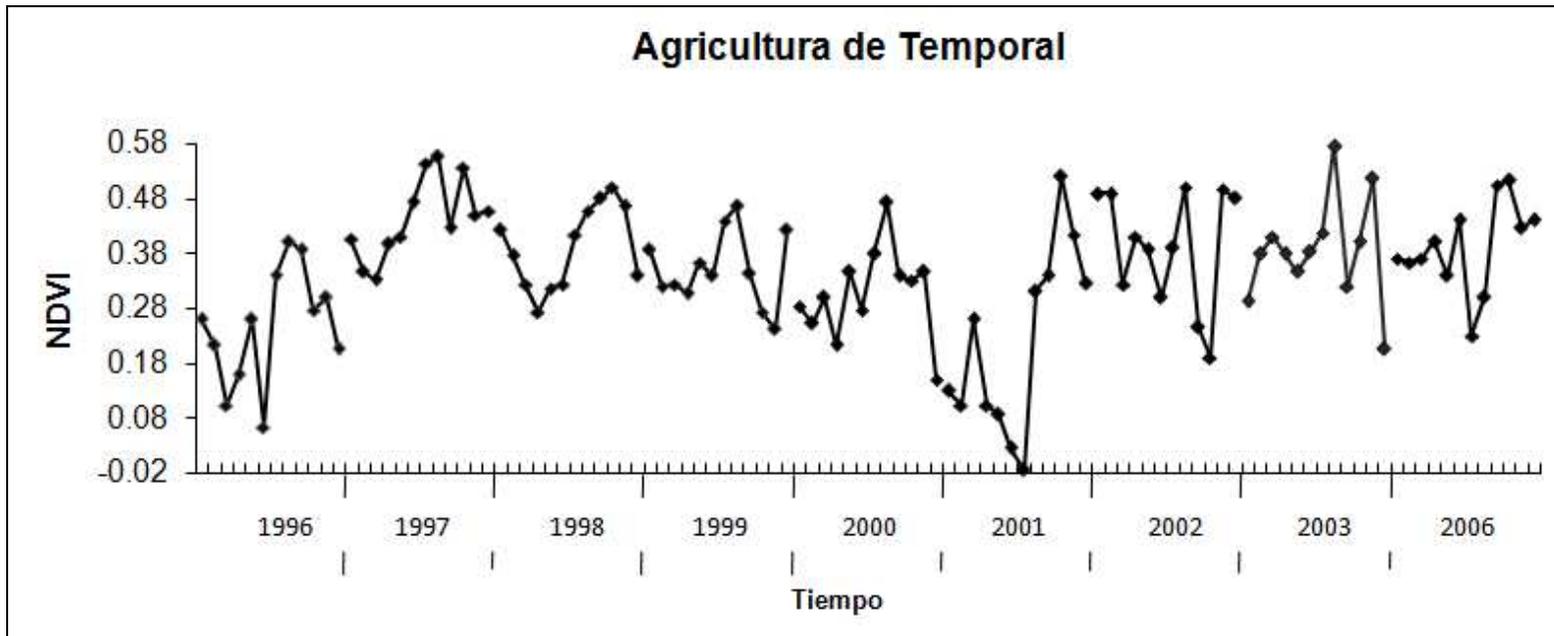


Gráfica 11. Análisis del NDVI Sitio 7, Bosque de Pino-Pastizal Inducido periodo 1996-2006.

Bosque de Pino, Pastizal Inducido

Tabla 11. Estadística básica del NDVI para Bosque de Pino-Pastizal Inducido periodo 1996-2006.

Año	Media	Moda	Varianza	Máximo	Mínimo
1996	0.34	N/A	0.01	0.46	0.20
1997	0.41	0.43	0.01	0.50	0.21
1998	0.33	0.30	0.00	0.46	0,26
1999	0.32	N/A	0.01	0.46	0.24
2000	0.25	0.25	0.01	0.37	0.08
2001	0.19	0.14	0.03	0.49	0.00
2002	0.37	0.32	0.01	0.59	0.19
2003	0.34	0.32	0.00	0.49	0.27
2006	0.40	N/A	0.01	0.66	0.24

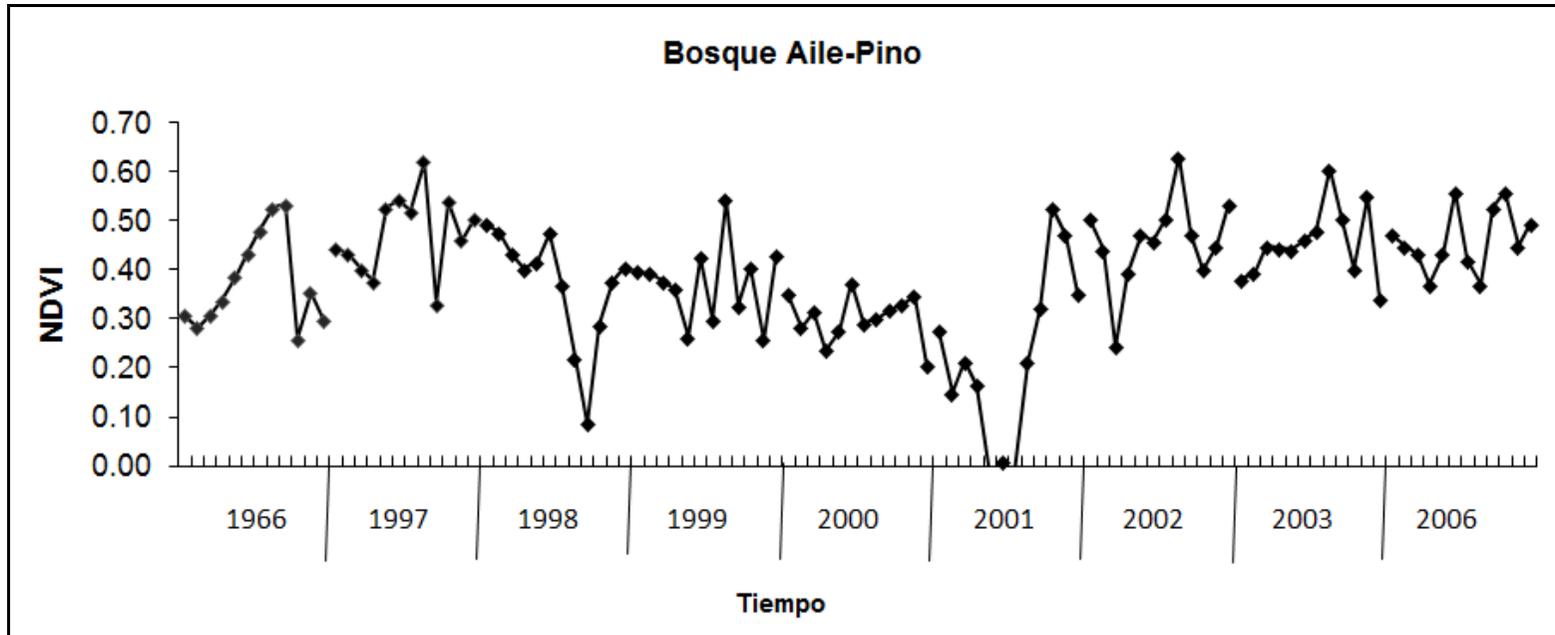


Gráfica 12. Análisis del NDVI Sitio 54, Agricultura de Temporal periodo 1996-2006.

Agricultura de temporal

Tabla 12. Estadística básica del NDVI Agricultura de Temporal periodo 1996-2006.

Año	Media	Moda	Varianza	Máximo	Mínimo
1996	0.25	0.26	0.01	0.40	0.06
1997	0.44	N/A	0.01	0.56	0.33
1998	0.39	0.32	0.01	0.50	0.27
1999	0.35	N/A	0.00	0.46	0.24
2000	0.31	0.35	0.01	0.47	0.15
2001	0.22	0.10	0.03	0.52	-0.02
2002	0.39	0.49	0.01	0.50	0.19
2003	0.38	0.38	0.01	0.57	0.20
2006	0.39	0.37	0.01	0.51	0.23

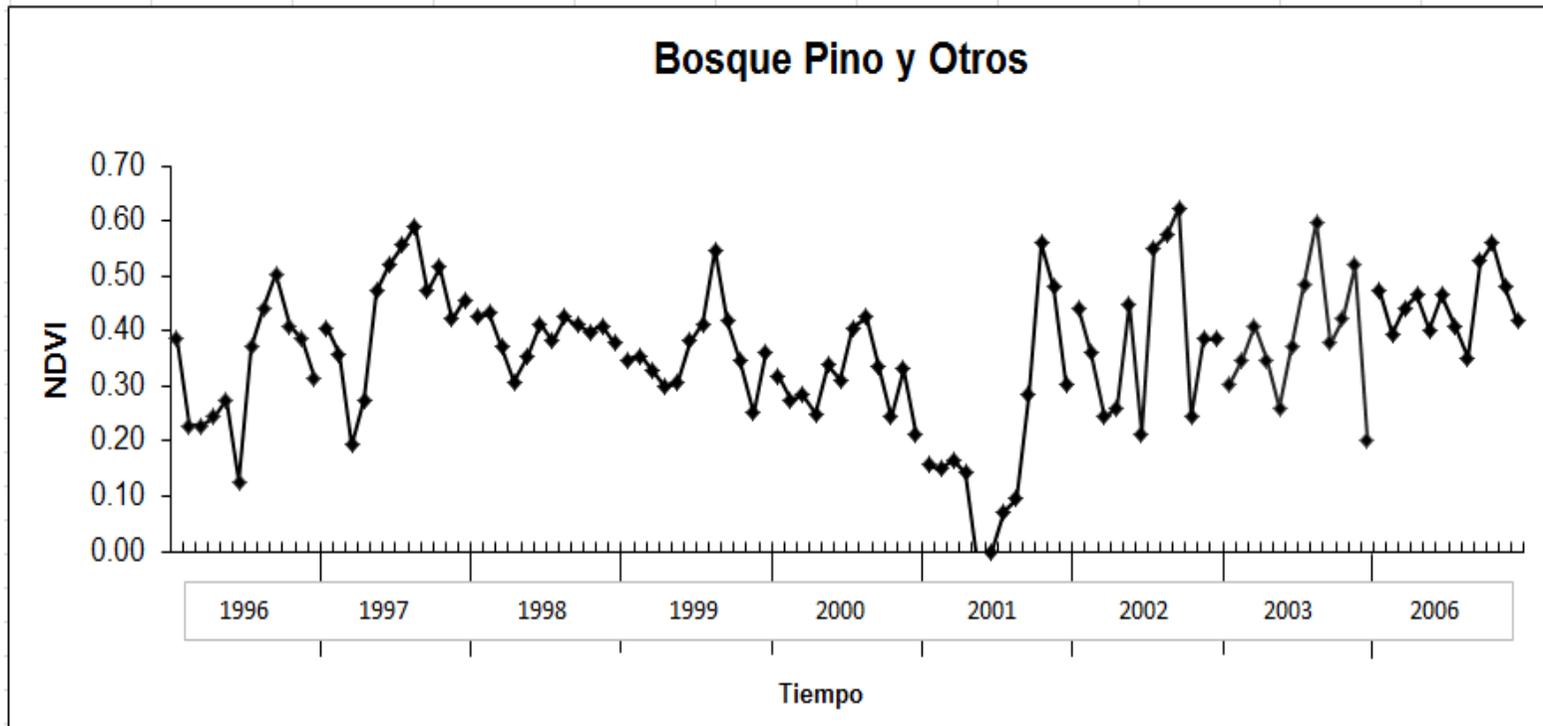


Gráfica 13. Análisis del NDVI Sitio 62, Bosque de Aile-Pino periodo 1996-2006.

Bosque Aile-Pino

Tabla 13. Estadística básica del NDVI para Bosque de Aile-Pino periodo 1996-2006.

Año	Media	Moda	Varianza	Máximo	Mínimo
1996	0.38	0.31	0.01	0.54	0.26
1997	0.48	N/A	0.01	0.62	0.33
1998	0.37	0.48	0.01	0.50	0.09
1999	0.37	N/A	0.01	0.54	0.26
2000	0.30	N/A	0.00	0.37	0.20
2001	0.22	0.21	0.03	0.53	-0.02
2002	0.46	0.50	0.01	0.63	0.24
2003	0.45	N/A	0.01	0.61	0.34
2006	0.46	0.45	0.00	0.56	0.37

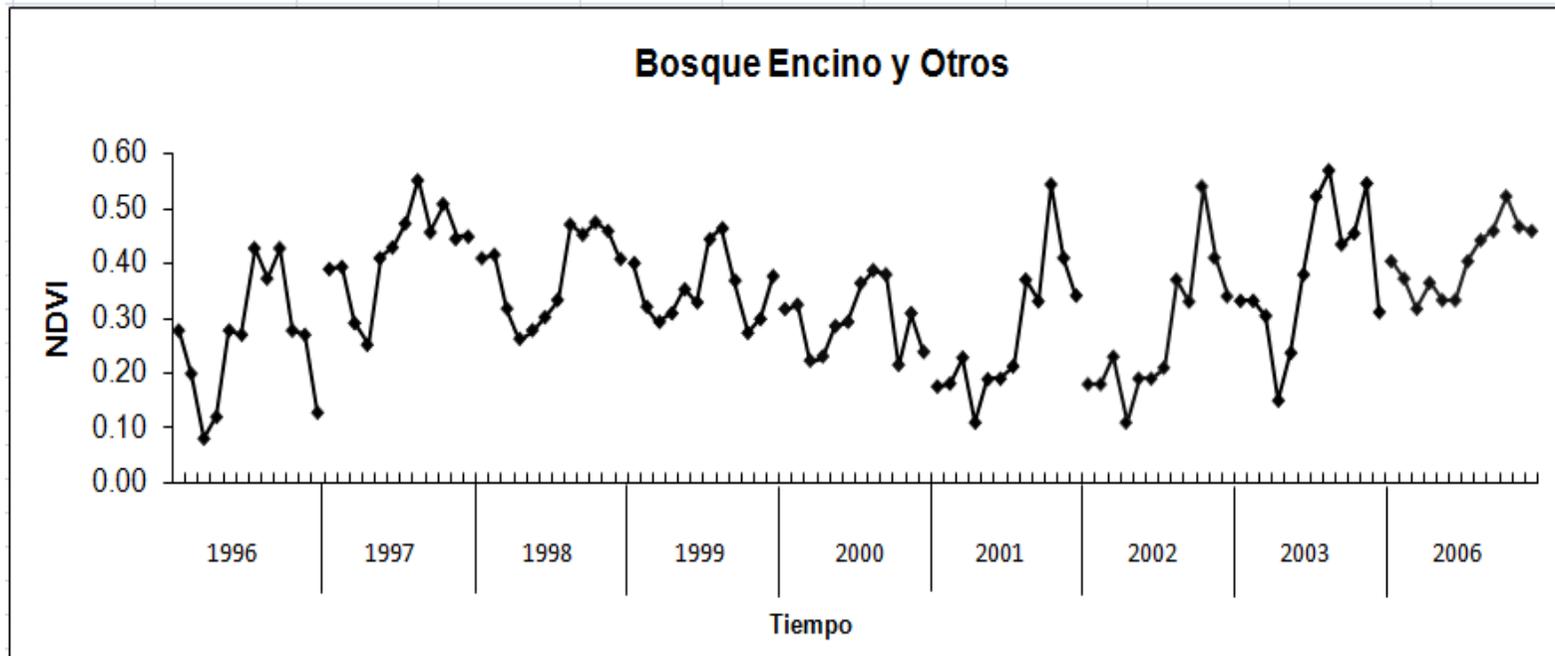


Gráfica 14. Análisis del NDVI Sitio 2, Bosque de Pino y Otros periodo 1996-2006.

Bosque Pino y Otros

Tabla 14. Estadística básica del NDVI para Bosque de Pino y Otros periodo 1996-2006.

Año	Media	Moda	Varianza	Máximo	Mínimo
1996	0.33	0.39	0.01	0.50	0.13
1997	0.44	0.47	0.01	0.59	0.19
1998	0.39	0.43	0.00	0.43	0.31
1999	0.36	0.35	0.01	0.55	0.25
2000	0.31	N/A	0.00	0.43	0.21
2001	0.20	N/A	0.03	0.56	-0.02
2002	0.39	0.24	0.02	0.62	0.21
2003	0.39	0.35	0.01	0.60	0.20
2006	0.45	0.46	0.00	0.56	0.35

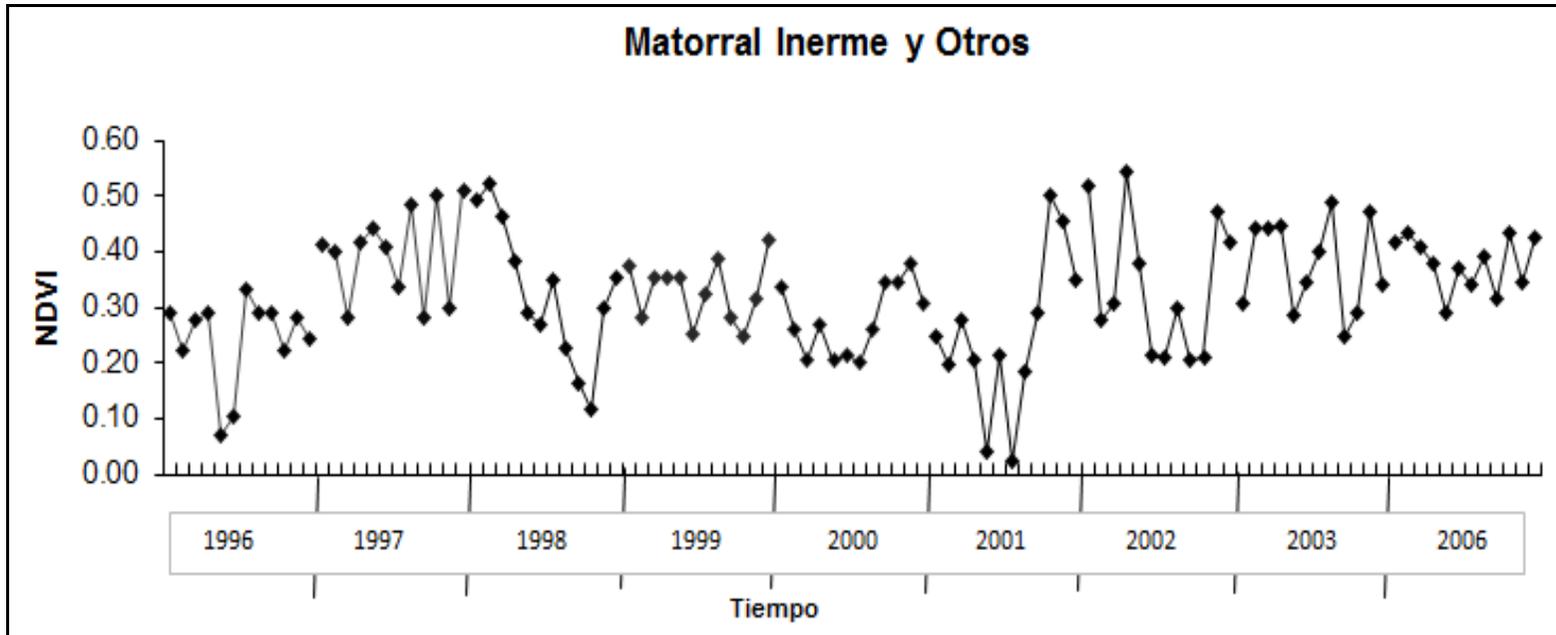


Gráfica 15. Análisis del NDVI Sitio 29, Bosque de Encino y Otros periodo 1996-2006.

Bosque Encino y Otros

Tabla 15. Estadística básica del NDVI para Bosque Encino y Otros periodo 1996-2006.

Año	Media	Moda	Varianza	Máximo	Mínimo
1996	0.26	0.28	0.01	0.43	0.08
1997	0.42	N/A	0.01	0.55	0.25
1998	0.38	N/A	0.01	0.47	0.26
1999	0.35	N/A	0.00	0.46	0.27
2000	0.30	N/A	0.00	0.39	0.21
2001	0.27	N/A	0.02	0.54	0.11
2002	0.27	0.18	0.02	0.54	0.11
2003	0.38	0.33	0.02	0.57	0.15
2006	0.40	0.40	0.00	0.52	0.31

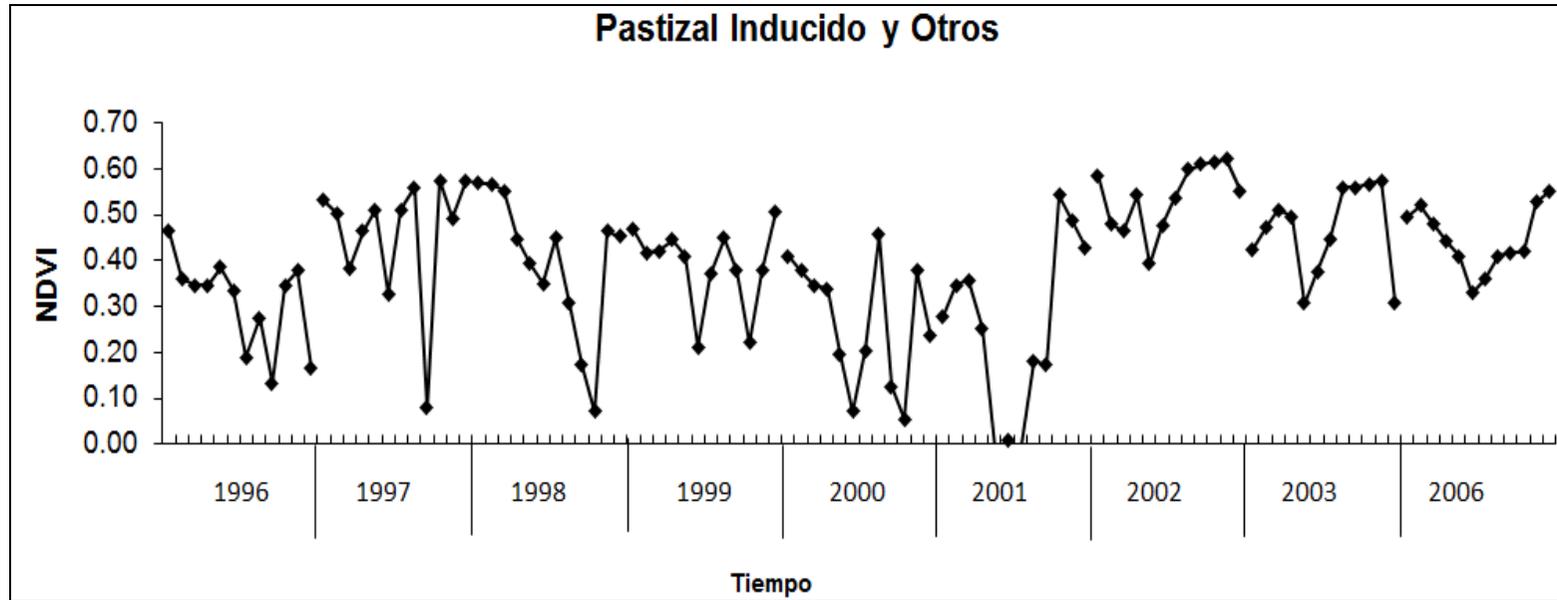


Gráfica 16. Análisis del NDVI Sitio 5, Matorral Inerme y Otros periodo 1996-2006.

Matorral Inerme y Otros

Tabla 16. Estadística básica del NDVI para Matorral Inerme y Otros periodo 1996-2006.

Año	Media	Moda	Varianza	Máximo	Mínimo
1996	0.24	0.29	0.01	0.33	0.07
1997	0.40	0.28	0.01	0.51	0.28
1998	0.33	N/A	0.02	0.52	0.12
1999	0.33	0.35	0.00	0.42	0.25
2000	0.28	0.26	0.00	0.38	0.20
2001	0.25	N/A	0.02	0.50	0.02
2002	0.34	0.21	0.02	0.54	0.20
2003	0.38	0.44	0.01	0.49	0.25
2006	0.38	0.43	0.00	0.43	0.29

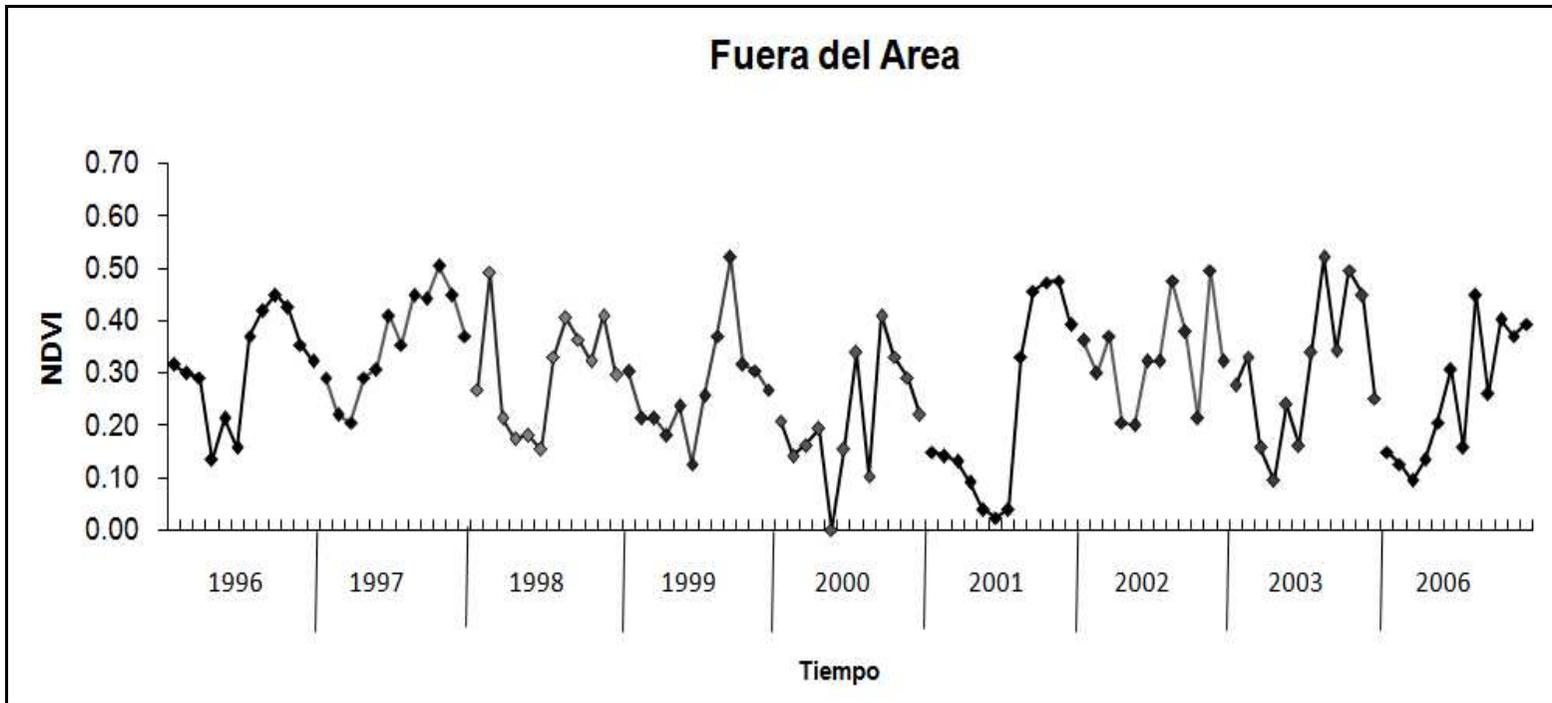


Gráfica 17. Análisis del NDVI Sitio 1, Pastizal Inducido y Otros periodo 1996-2006.

Pastizal Inducido y Otros

Tabla 17. Estadística básica del NDVI Pastizal Inducido y Otros periodo 1996-2006.

Año	Media	Moda	Varianza	Máximo	Mínimo
1996	0.31	0.35	0.01	0.46	0.13
1997	0.46	0.51	0.02	0.57	0.08
1998	0.40	N/A	0.02	0.57	0.07
1999	0.39	0.38	0.01	0.51	0.21
2000	0.27	0.38	0.02	0.46	0.06
2001	0.25	N/A	0.04	0.54	-0.02
2002	0.54	N/A	0.01	0.62	0.39
2003	0.47	0.31	0.01	0.57	0.31
2006	0.45	N/A	0.00	0.55	0.33

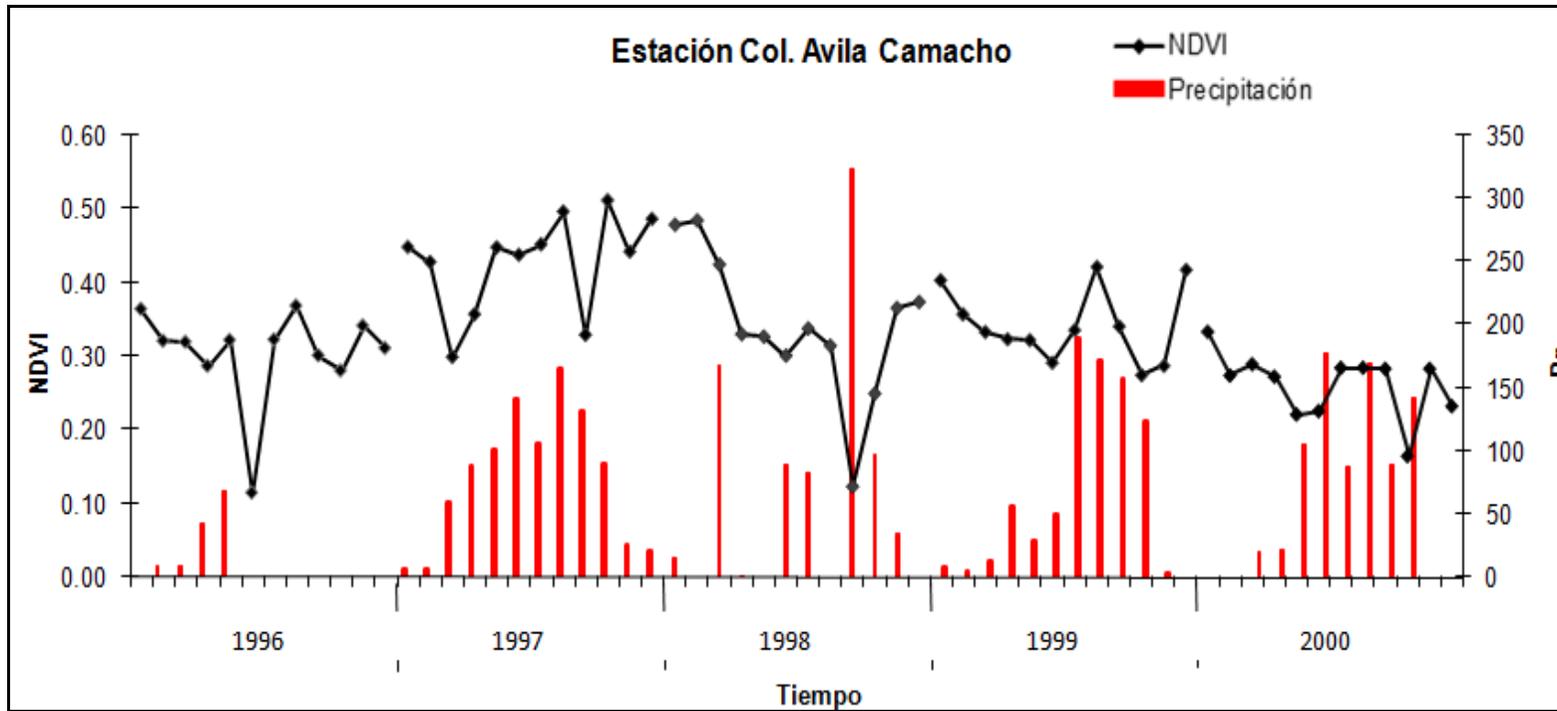


Gráfica 18. Análisis del NDVI Sitio 21, Fuera del Área periodo 1996-2006.

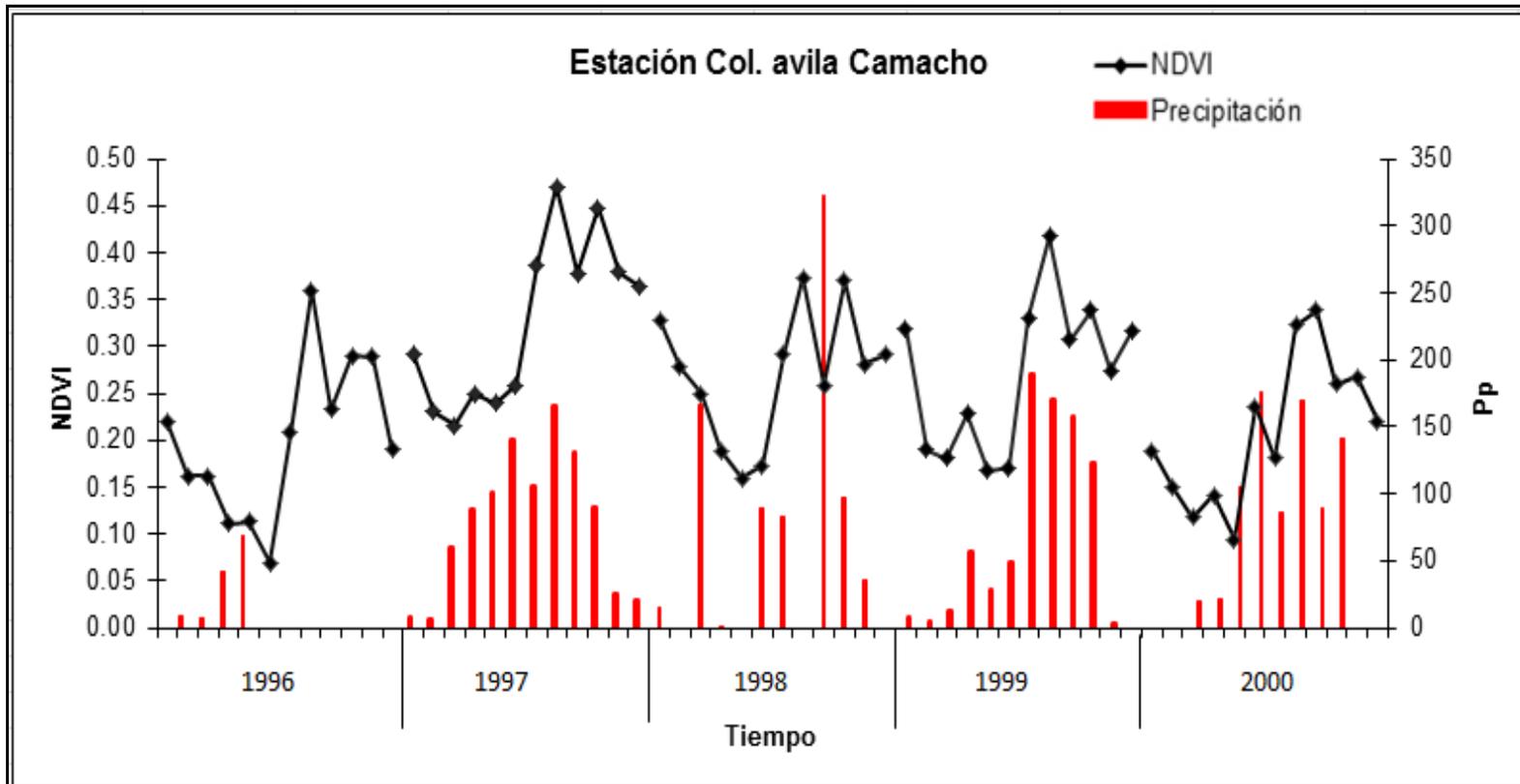
Fuera del Área

Tabla 18. Estadística básica del NDVI Fuera del Área periodo 1996-2006.

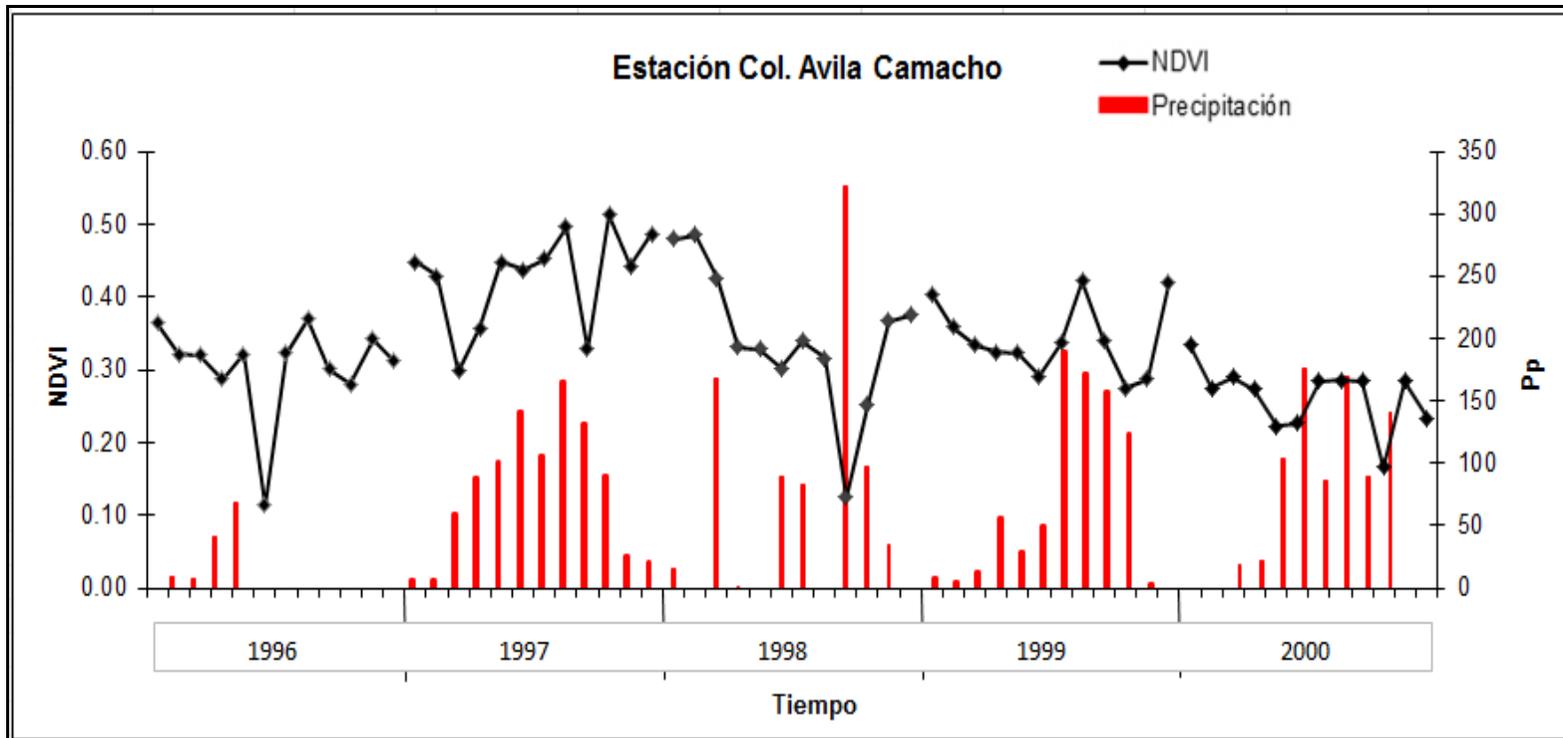
Año	Media	Moda	Varianza	Máximo	Mínimo
1996	0.31	N/A	0.01	0.45	0.13
1997	0.36	0.29	0.01	0.50	0.20
1998	0.30	N/A	0.01	0.49	0.15
1999	0.28	0.21	0.01	0.52	0.13
2000	0.21	N/A	0.01	0.41	0.00
2001	0.23	0.04	0.03	0.48	0.02
2002	0.33	0.32	0.01	0.50	0.20
2003	0.30	N/A	0.02	0.52	0.09
2006	0.25	N/A	0.02	0.45	0.09



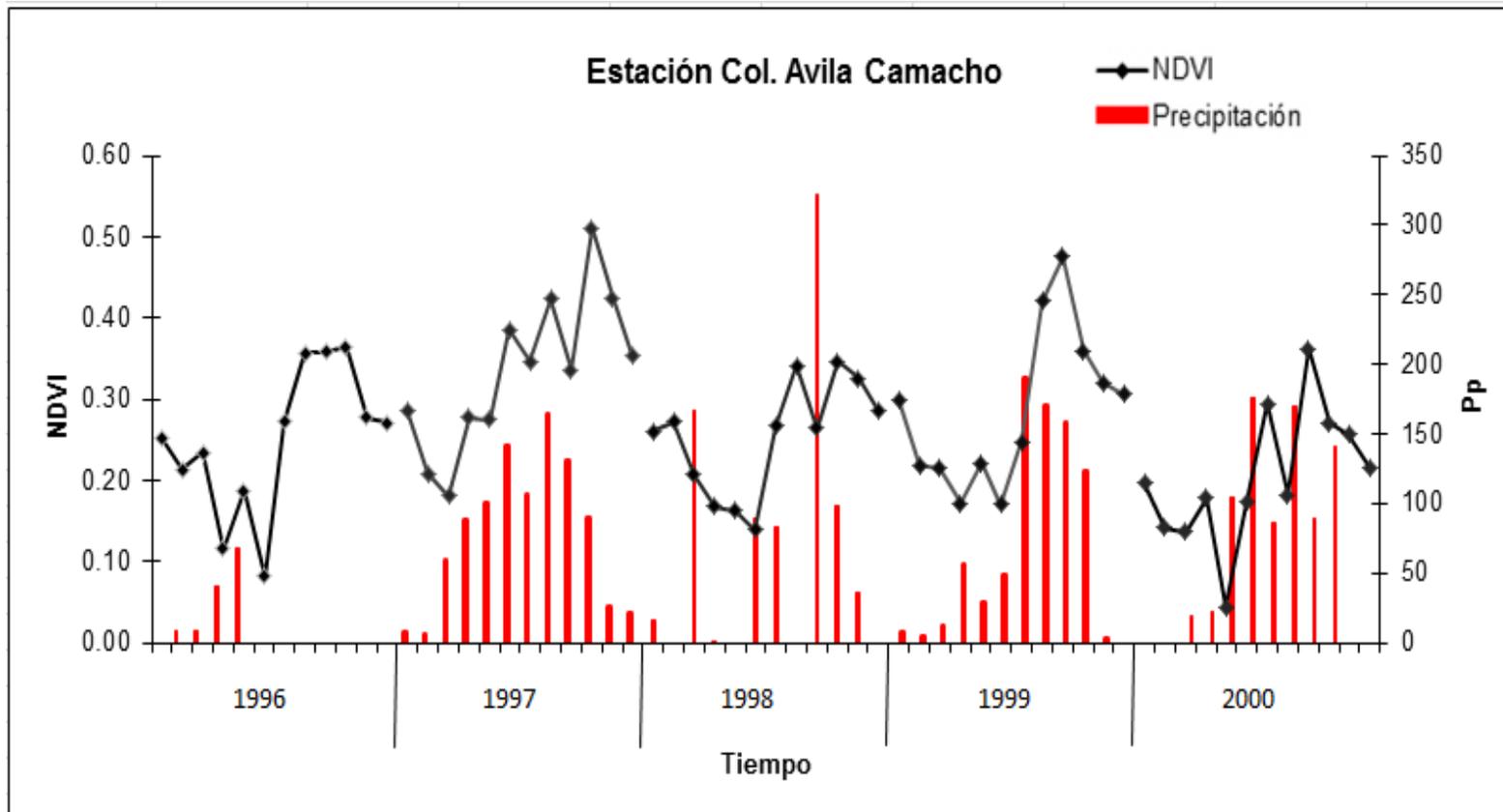
Gráfica 19. Análisis del NDVI del Bosque de Pino-Encino (Incluye Encino-Pino) contra la Precipitación pluvial, Estación Ávila Camacho



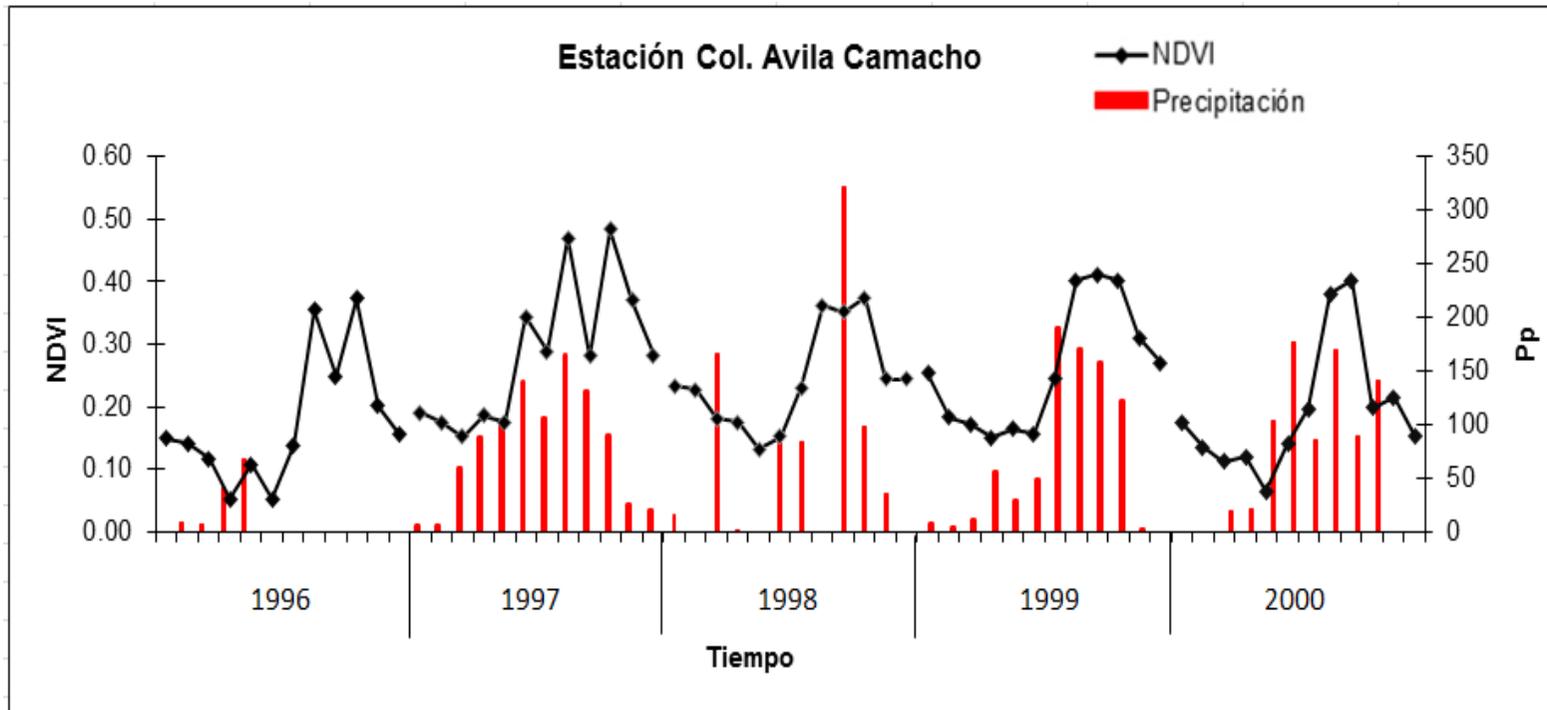
Gráfica 20. Análisis del NDVI para Agricultura de Temporal con Cultivos Anuales contra la Precipitación pluvial, Estación Ávila Camacho



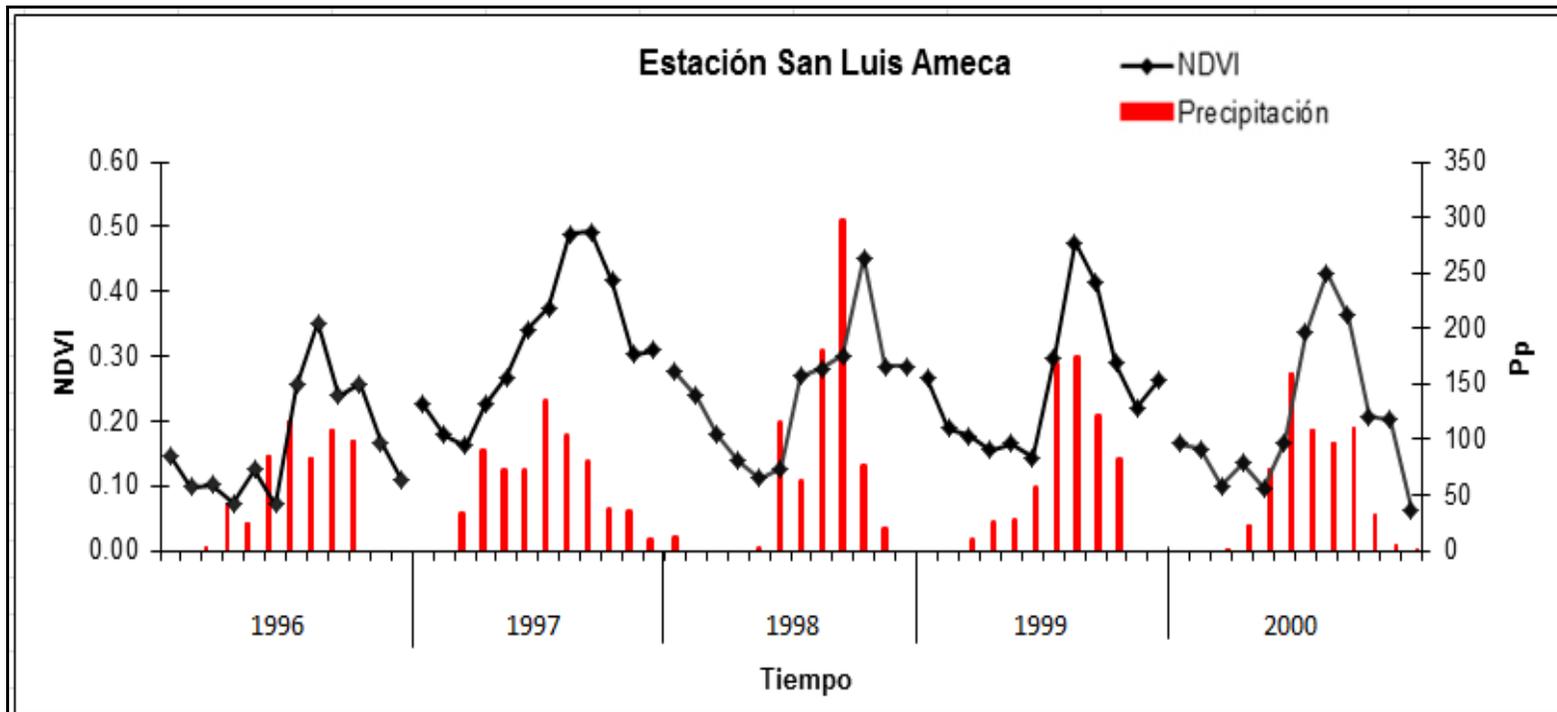
Gráfica 21. Análisis del NDVI del Bosque de Pino contra la Precipitación pluvial, Estación Ávila Camacho



Gráfica 22. Análisis del NDVI del Bosque de Pino con Vegetación Secundaria Arbustiva y Herbácea contra la Precipitación pluvial, Estación Ávila Camacho



Gráfica 23. Análisis del NDVI del Pastizal Inducido contra la Precipitación pluvial, Estación Ávila Camacho



Gráfica 24. Análisis del NDVI del Pastizal Inducido contra la Precipitación pluvial, Estación San Luis Ameca

René Arturo Mandujano Hurtado.

FES ZARAGOZA