

97  
2e

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS



UN ESTUDIO DE LA LLUVIA Y  
LA DINÁMICA DE LA VEGETACIÓN  
EN EL VALLE DE TEHUACÁN-CUICATLÁN,  
A TRAVÉS DEL USO DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN  
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

T E S I S

Que para obtener el título de:

B I Ó L O G O

p r e s e n t a :

**Claudia Tania Lomas Barrié**

Director de tesis: Dra. María Engracia Hernández Cerda



México, D. F.



1998

FACULTAD DE CIENCIAS  
SECCIÓN ESCOLAR

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

260046



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

M. en C. Virginia Abrín Batule  
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la  
Facultad de Ciencias  
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis: Un estudio de la lluvia y la dinámica de la vegetación en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Puebla-Oaxaca, a través del uso del índice de vegetación NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

realizado por Claudia Tania Lomas Barrié

con número de cuenta 8916900-1 , pasante de la carrera de BIOLOGÍA

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis  
Propietario

Dra. María Engracia Hernández Cerda *Ma Engracia Hernández Cerda*

Propietario

M. en C. Nelly Diego Pérez *N. Diego Pérez*

Propietario

Dr. Valentino Sorani Dalbon *Valentino Sorani Dalbon*

Suplente

M. en C. Jaime Jiménez Ramírez *Jaime Jiménez Ramírez*

Suplente

M. en C. Gloria Alfaro Sánchez *Gloria Alfaro Sánchez*

*[Signature]*  
Consejo Departamental de Biología  
M. en C. Alejandro Martínez Menar

DEPARTAMENTO  
DE BIOLOGÍA

FALTAN PAGINAS

70

De la:

1

A la:

6

Paqueta 4

322

Mary por tu amistad, tus consejos y asesoramiento en este primer paso.

Arturo y Victor

Amigos

Y comité evaluador:

M. en C. Nelly Diego Pérez

Dr. Valentino Sorani Dalbon

M. en C. Gloria Alfaro Sánchez

M. en C. Jaime Jiménez Ramírez

GRACIAS

## Indice General

Introducción.....	13
Antecedentes.....	15
Objetivos.....	35
Metodología.....	37
Resultados y Discusión.....	47
Conclusiones.....	131
Literatura Citada.....	133
Indice de Figuras.....	140

## Introducción

Desde el punto de vista climático las zonas áridas en México resultan muy importantes, ya que su extensión es mayor al 54% del territorio nacional, y por los más altos niveles de endemismo y de diversidad que presentan (Valiente-Banuet,1995). La abundancia a nivel de familia y género de endemismo se correlaciona positivamente con el grado de aridez, alcanzando una proporción de 43% en la zona árida y de 28% en la semiárida (Rzedowski,1992). Resultan ser además las superficies más vulnerables a la desertificación, debido a sus condiciones geográficas, así como a la sobreexplotación de sus recursos (Hernández y García,1997; Oropeza y Alfaro,1997). Desde el punto de vista social, se sabe que las zonas áridas mexicanas, han sido y son, uno de los escenarios más importantes de la historia de los grupos étnicos que habitaron y habitan el país (Valiente-Banuet,1995).

El Valle de Tehuacán-Cuicatlán constituye un ejemplo de estas condiciones, representa el 0.69% de las zonas áridas de nuestro territorio nacional. Es originado por el factor de sombra orográfica (Hernández,1992), que provoca condiciones ambientales extremas. Su aislamiento geográfico da lugar a un alto endemismo en el Valle (Granados y García,1989), por ejemplo, su flora alcanza un 30% de endemismo, en una superficie de 10,000 km<sup>2</sup> y con una riqueza entre 2700 y 3000 especies distribuidas en 922 géneros y 189 familias (Valiente-Banuet,1995). Este valle tiene representadas distintas comunidades vegetales, como la selva baja caducifolia, el matorral xerófilo, pastizal, etc. Subsisten en esta región, áreas que sustentan relictos bien conservados de la vegetación que imperaban en el Valle desde hace cuando menos 10,000 años.

A través de los siglos el hombre ha tenido singular preocupación por el fenómeno atmosférico conocido como sequía. A causa del desarrollo tecnológico de la humanidad, esta preocupación se ha acentuado por los daños que origina, por lo que es necesario la promoción de un posible pronóstico de la sequía. Para lo cual se requiere una base de información sobre el comportamiento de los patrones climáticos interanuales e intraanuales.

La sequía se produce con mayor o menor frecuencia en todas las zonas climáticas del país. Las regiones situadas sobre las zonas áridas, son las más afectadas por la frecuencia y crudeza de este fenómeno meteorológico (Kenneth,1985; Medina,1986).

Se sabe que uno de los elementos climáticos importantes en el estudio de la vegetación es la precipitación (Chang,1968; Jackson,1989), ya que constituye, un factor importante en la dinámica de la misma (Malo and Nicholson,1990). Evidencia de esta relación, son las etapas fenológicas de las plantas, tales como la emergencia y senescencia asociada a las épocas húmeda y seca respectivamente. Por tanto, los cambios en los eventos fenológicos, podrían tener singular importancia para la determinación de variaciones climáticas que se dan año con año, o aquellas dadas por el cambio ambiental global.

En los últimos años, los sistemas de percepción remota espacial, utilizados en el estudio de los recursos naturales han desarrollado técnicas que pueden generar bases de datos actuales y dinámicas, por lo que resultan, una herramienta adecuada para el seguimiento de las características físicas y biológicas de la superficie terrestre. Dentro de estos, las imágenes de satélites meteorológicos como los *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), han tomado mayor importancia al incrementar sus aplicaciones, como es la utilización de los índices de vegetación, *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) calculados a partir del sensor *Advanced Very High Resolution* (AVHRR), para la previsión de sequías, incendios forestales, etc. Por ejemplo en Africa, se han utilizado para determinar el movimiento del límite del Sahara (Tucker *et al.*,1994) o hacer un seguimiento de la cobertura herbácea en Botswana (Prince and Tucker,1986).

En el Sahei el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) ha mostrado relación entre la variabilidad interanual de la vegetación y la lluvia (Malo and Nicholson,1990). En el presente estudio se pretende caracterizar el comportamiento de la lluvia en una zona con climas árido y semiárido, como es el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, con base a datos meteorológicos y a la respuesta de la vegetación, mediante el uso de imágenes AVHRR-NOAA.

## **Antecedentes**

### **Localización Geográfica y condiciones físicas**

El Valle de Tehuacán-Cuicatlán conformado como unidad de acuerdo a la delimitación climática realizada por Hernández, inédito, está localizado en el centro sur de México, abarca el extremo sureste del Estado de Puebla y noroeste del Estado de Oaxaca, entre los 17°18' y 19°05' de latitud norte y los 96°38' y 97°57' longitud oeste. La orientación del Valle es norte-noroeste a sur-sureste (Fig. 1).

Está limitado al este por la sierra Madre Oriental, al sur y oeste se localizan la sierra de Zapotitlán y otras cordilleras pertenecientes a la sierra Mixteca (Fig. 2).

Los principales ríos son el Salado situado al norte y los ríos Tomellín, de las Vueltas y Grande al sur, todas estas corrientes confluyen en la parte más baja del valle para formar el río Quiotepec o Santo Domingo para después vertir sus aguas al río Papaloapan.

En esta zona se encuentran representados, los tres subgrupos climáticos áridos, esto es, semiárido BS<sub>1</sub> (constituyendo un 75.36%, respecto al Valle), árido BS<sub>0</sub> (un 20.46%) y muy árido BW (con un 4.18%), de acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por García (1988), (Fig. 3).

La escasa precipitación del valle es provocada por la sombra de las sierras que lo rodean (Valiente, 1991; Hernández, 1992; Valiente-Banuet, 1995; Carrasco, 1996).

Por localizarse dentro de la zona tropical se caracteriza por presentar dos máximos de temperatura al año. Presenta tres pisos térmicos, el cálido, semicálido y templado. El primero se localiza en las partes bajas con una temperatura media anual en el mes más frío sobre 18°C y la media anual sobre 22°C, en el semicálido con temperatura media del mes más frío bajo 18°C y media anual entre 18° y 22°C y el templado, localizado a altitudes de más de 2000 msnm, con temperatura media del mes más frío entre -3° y 18°C

y la del mes más caliente mayor a 6.5°C. Se caracteriza por presentar poca oscilación térmica, con una marcha anual de la temperatura considerada de tipo ganges es decir, que el mes más cálido se presenta antes del solsticio de verano y de la temporada de lluvias (mes de junio).

Esta zona se caracteriza por presentar régimen de lluvias de verano, con dos máximos de precipitación (junio y septiembre), con sequía intraestival o canícula marcada (Valiente 1991 ; Hernández, inédito ; Carrasco, 1996). De manera general las áreas del centro del valle son las que reciben menor cantidad de lluvia que las situadas cerca de las estribaciones y sierras orientales.

Carrasco, (1996) identifica que la lluvia presenta dos periodos bien marcados, uno seco y uno húmedo, a nivel anual el primero ocurre de noviembre-abril en donde las precipitaciones son escasas constituyendo menos del 5%. Este autor atribuye esta lluvia a la entrada de masas frías (Nortes) en el golfo de México. El periodo húmedo ocurre de mayo a octubre, ocasionado en general por la entrada de los vientos Alisios del Sistema Anticiclónico del Atlántico por las costas del golfo de México. En junio se presenta el máximo de lluvia, el cual coincide con el desplazamiento al norte de la zona intertropical de convergencia (ITC), y el aumento en la actividad de los Alisios; las precipitaciones de julio están asociadas al paso de las "ondas del este" provocando lluvias de tipo convectivo, y también se puede deber a las perturbaciones tropicales que pueden llegar a convertirse en huracanes. Plantea, en general que existe una constancia de ocurrencia de estos fenómenos meteorológicos productores de precipitación.

La predecibilidad de la lluvia para la parte centro del Valle de Tehuacán, es analizada por Valiente (1991) quien utiliza el parámetro alfa (forma de la distribución probabilística de los datos de precipitación). Muestra que la distribución espacial de la precipitación anual, en el Valle es heterogénea. Las áreas de mayor consistencia de lluvia se encuentran localizadas al oeste, sobre la zona montañosa, las de menor consistencia o de mayor variación se ubican en la porción este, inmediata a las zonas bajas de la ladera de sotavento de la sierra Zongólica. Este mismo autor obtiene que junio tiene alta

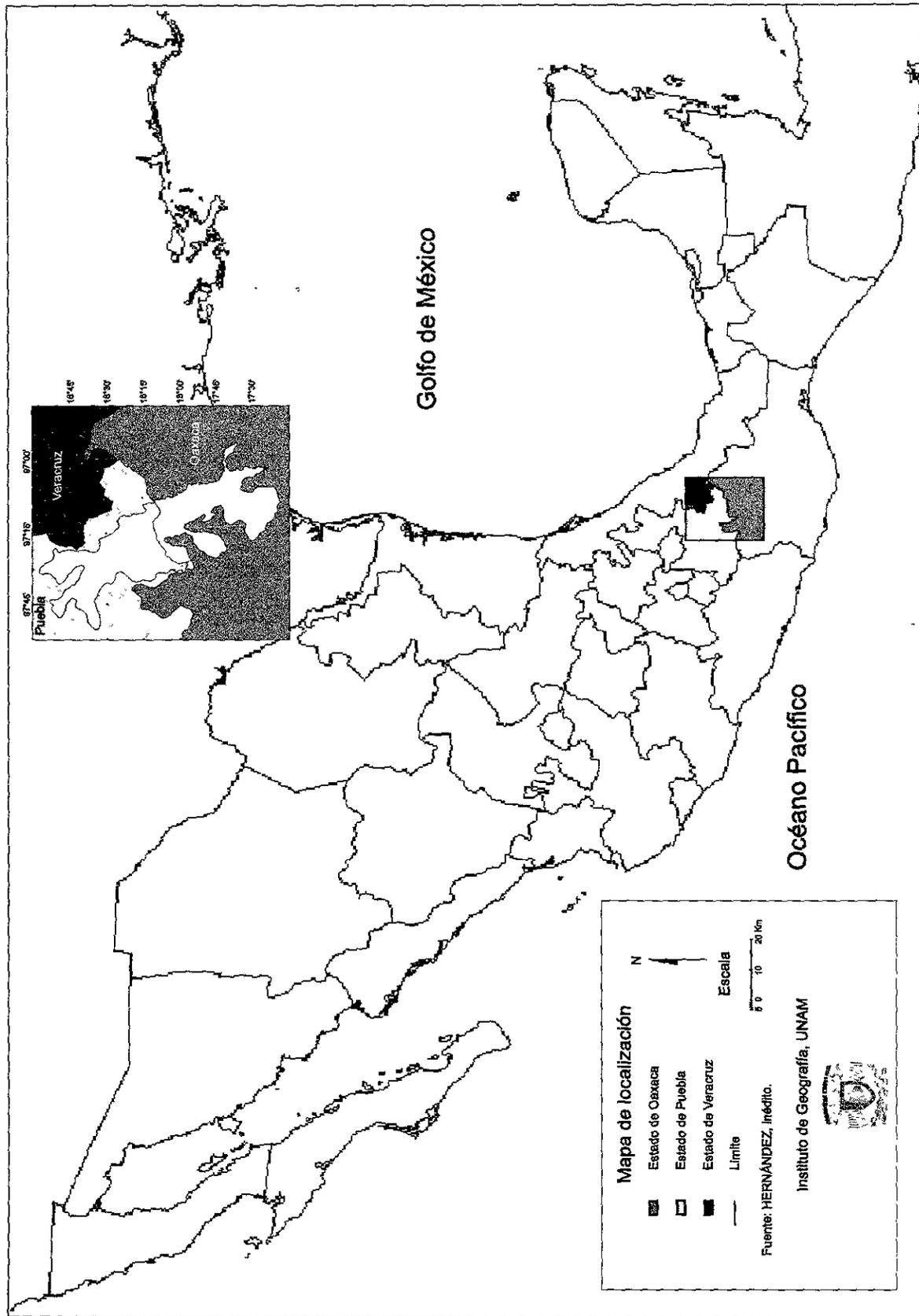


Fig.1 Localización del Valle de Tehuacán-Cuicatlán.

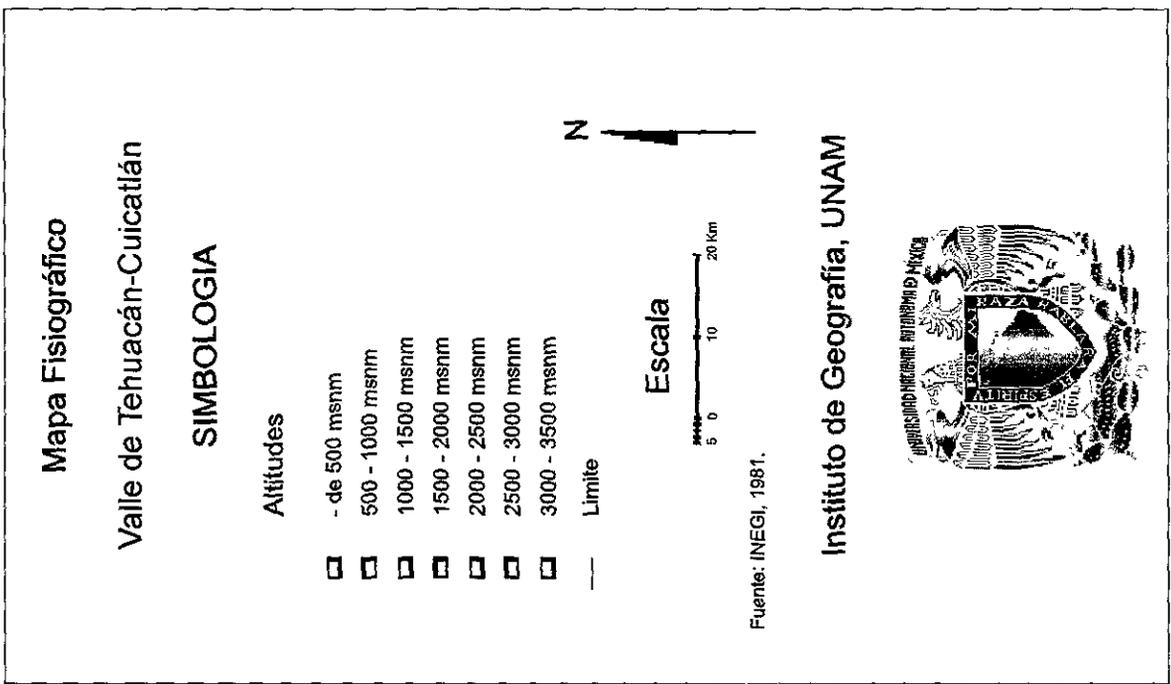
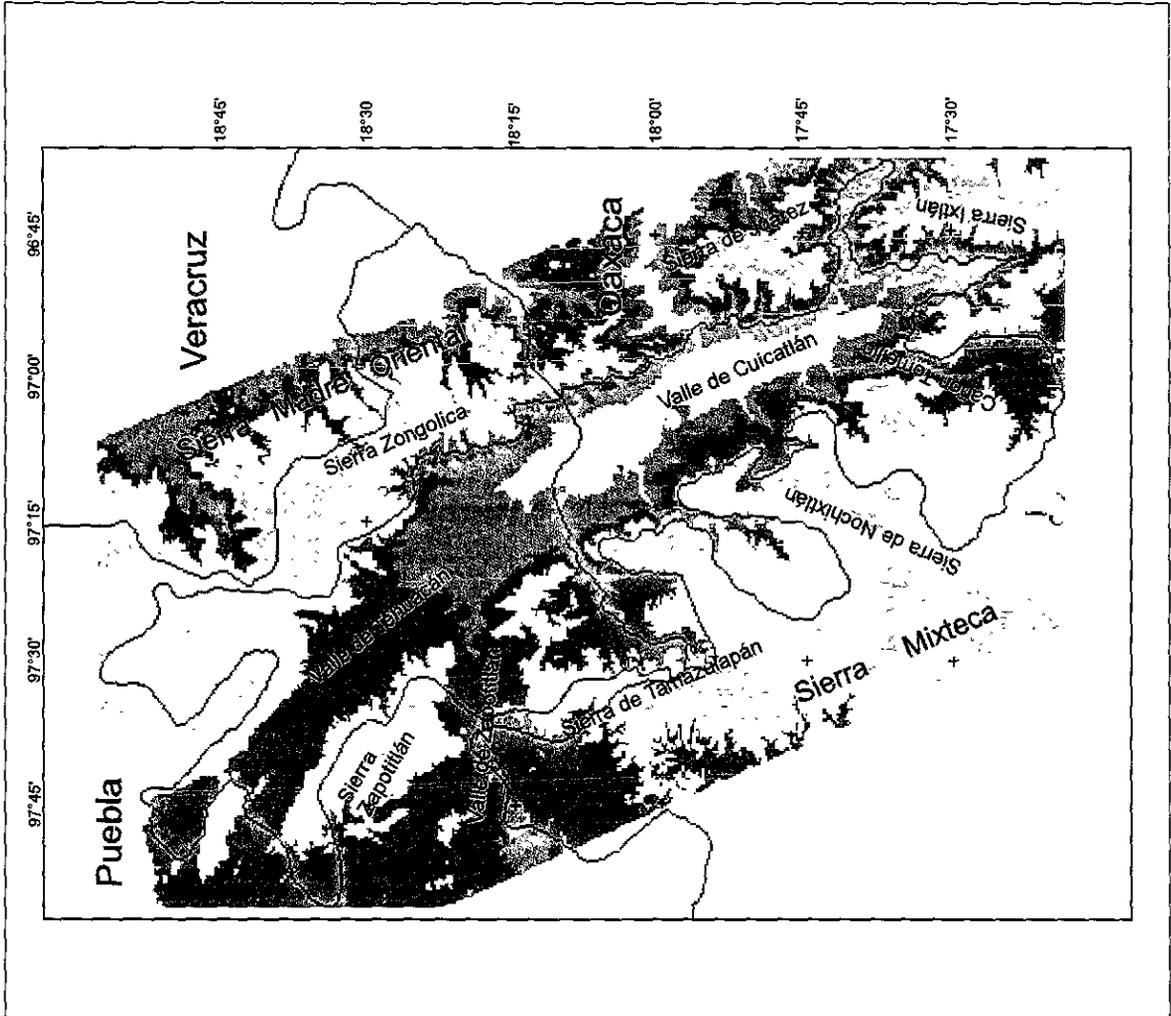


Fig.2 Mapa Fisiográfico del Valle de Tehuacán-Cuicatlan.

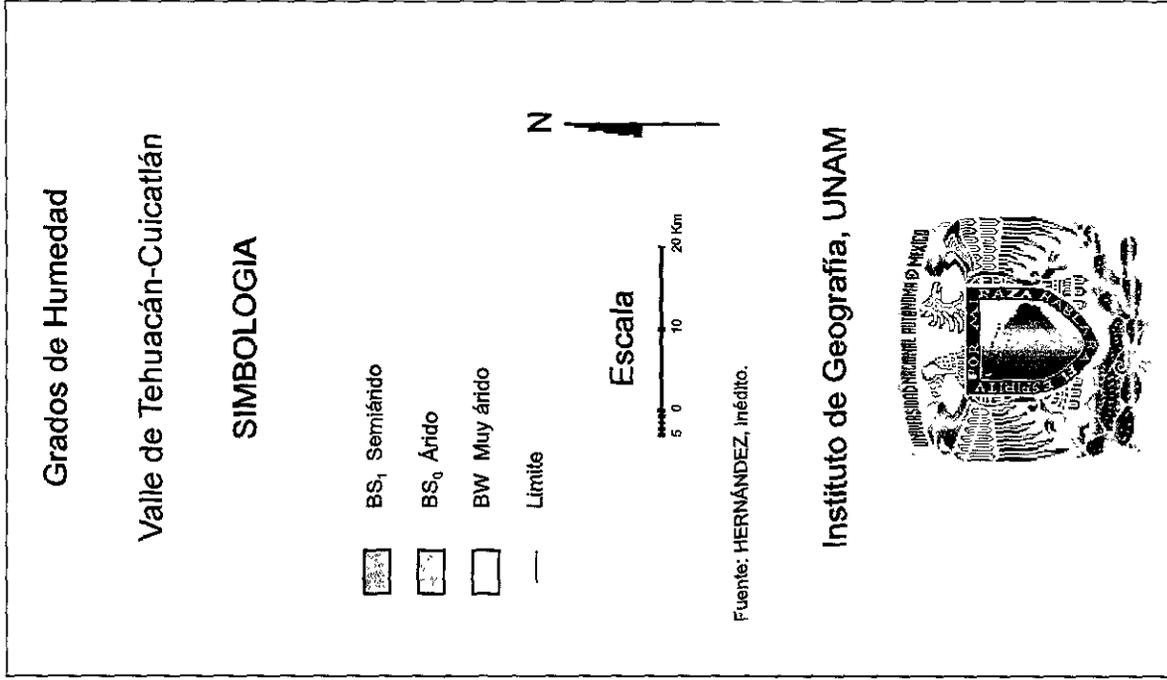
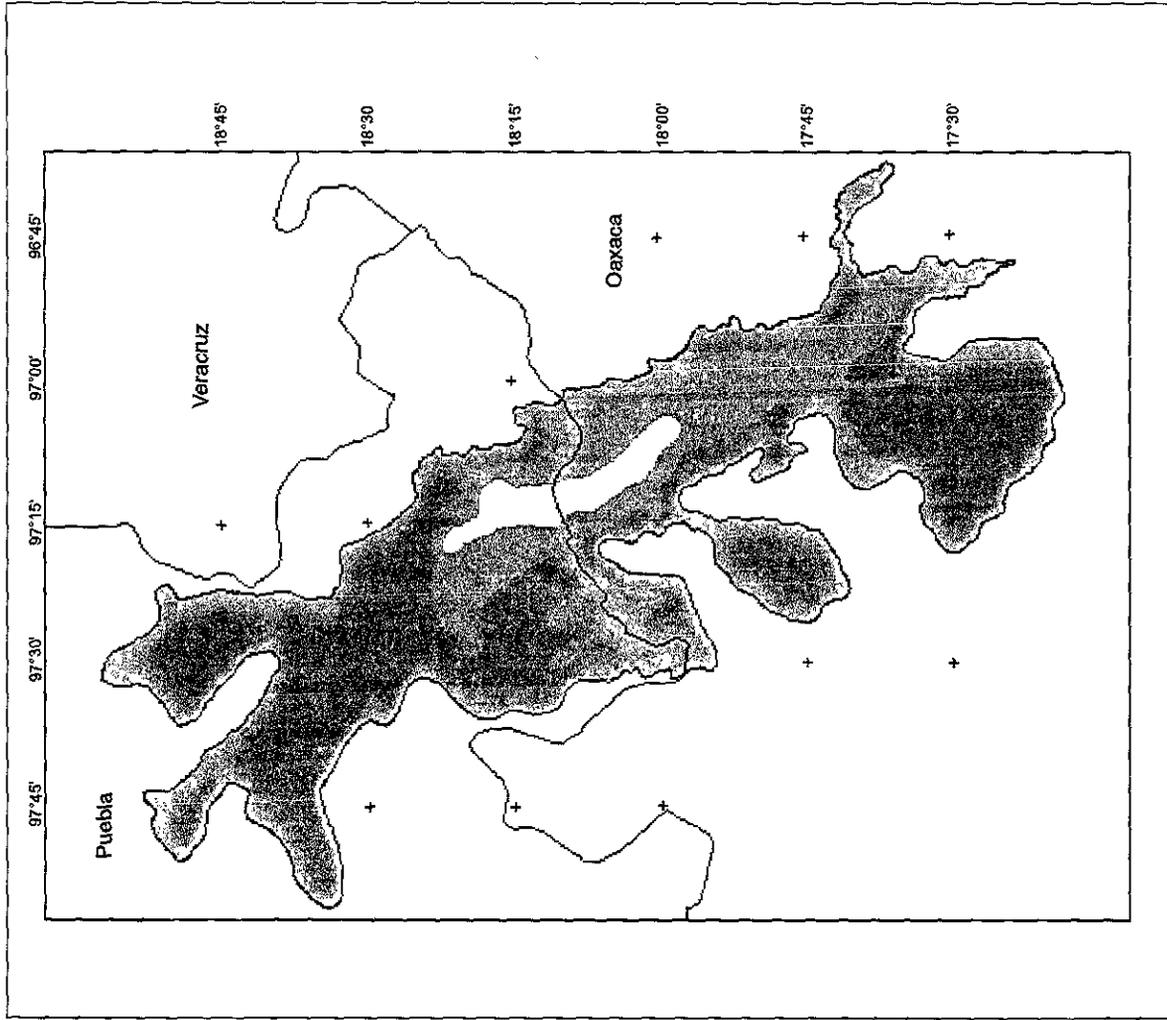


Fig.3 Grados de humedad de acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por García, 1988.

predecibilidad de lluvia, y que puede tener medias menores, mientras septiembre además de presentar medias mayores, es un mes de menor consistencia. Por último, establece que de los resultados obtenidos para la predicción de los niveles de lluvia anuales en el Valle de Tehuacán, queda de manifiesto que los promedios anuales son predictores relativamente buenos de la cantidad esperada de lluvias en esta región, en contraste con otras zonas áridas de México.

## **Flora y Fauna**

Rzedoswki (1994) a través de un análisis de afinidades geográficas de la flora de diferentes regiones del país y utilizando coeficientes de similitud, entre las floras, así como endemismos y en general las áreas de distribución de plantas florales, encontró que México se divide en 17 provincias florísticas, correspondiéndole al área de estudio la denominada Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Cada provincia se agrupa en 4 regiones, al Valle, le corresponde la Xerófita Mexicana. Estas regiones se relacionan con alguno de los dos reinos: el Holártico es más restringido y el Neotropical incluye la mayor parte del territorio del país, abarca las porciones de clima caliente y las de clima seco y semiseco. La región Xerófita Mexicana, caracterizada por clima árido y semiárido, corresponde al Neotropical.

La provincia del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, presenta ciertas relaciones con la Provincia de la Depresión del Balsas, debido a que en otras épocas fuera tributario de este, hoy forma parte del sistema de drenaje del Papaloapan (Miranda y Hernández, 1963).

De acuerdo a diversos estudios en esta provincia florística, se sabe que biogeográficamente los centros de diversidad más importantes de cactáceas columnares gigantes en México, son las que se localizan en la provincia del Valle de Tehuacán (Ezcurra y Valiente-Banuet, 1989). Así, en un estudio en la localidad Pueblo Nuevo, en el municipio de Coxcatlán Puebla, dentro del Valle en donde se describió la vegetación con base a diferentes parámetros ecológicos, el índice de diversidad fue alto (Bachem *et al.*, 1989).

En un análisis multivariado de la vegetación arbórea a lo largo de las laderas a sotavento de la sierra Madre Oriental, se muestra que la zona presenta una variabilidad y heterogeneidad, que estudios descriptivos no habían detectado (Jaramillo y González, 1983).

También en un estudio de los tipos de vegetación y diversidad  $\beta$  en el valle de Zapotitlán de las Salinas, se encontró que la riqueza de las comunidades responde a la heterogeneidad de los suelos (Osorio *et al.*, 1996).

A partir de un levantamiento de recursos genéticos vegetales, tomados de los tianguis regionales así como de algunos hábitats naturales y antropogénicos en el valle, se registraron 108 plantas con diferentes usos entre los que se pueden mencionar los alimenticios, medicinales y forrajeros (Granados y Colin, 1989).

La dinámica poblacional de las cactáceas en el Valle de Zapotitlán, Puebla es tema de diversas investigaciones como ejemplo tenemos a: Cephalocereus hoppenstedtii (Zavala *et al.*, 1989 ; Martínez, 1989) y Neobuxbaumia tetetzo (Nuñez, 1989 ; Barnard-Alcaráz y Valiente-Banuet, 1989 ; Valiente-Banuet y Ezcurra, 1989 ; Díaz, 1989).

En cuanto a fauna se refiere, de acuerdo a una colecta de 24 especies de murciélagos, correspondientes a 5 familias colectados en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, se observó un alto porcentaje de familias transicionales y compartidas, produciéndose una amplia zona de sobreposición, entre lo que son la región neártica a la neotropical, indicando que el valle se comporta como un corredor importante para la quiropterofauna del lugar (Quintero y Briones, 1989).

También de acuerdo a una colecta de 27 especies de roedores, pertenecientes a 4 familias, el porcentaje mayor corresponde a familias transicionales y compartidas, lo que indica que se ubica dentro del área de transición Mexicana (Briones y Quintero, 1989).

## **Selva baja caducifolia o bosque tropical caducifolio**

La selva baja caducifolia (SBC) es una comunidad tropical, dominada por árboles bajos, de copas anchas y con una marcada estacionalidad (Miranda y Hernández, 1963; Dirzo, 1992; Trejo, 1996), y de acuerdo a Rzedowski (1994) recibe la denominación de bosque tropical caducifolio.

En el desarrollo del trabajo se usará la primera denominación (SBC), ya que es la utilizada por las cartas de vegetación y uso del suelo de la SPP, 1985, y la del inventario forestal periódico, de SARH e Inst. Geografía, 1992.

De acuerdo al análisis de Dirzo (1992) las selvas secas de México albergan aproximadamente un tercio más de especies que lo que se esperaría, por lo que son las más diversas de su tipo en el mundo, poseyendo un alto porcentaje de endemismo.

A nivel nacional el bosque tropical caducifolio ocupa el segundo lugar en cuanto a riqueza en especies de fanerogamas (Rzedowski, 1992). En endemismo a nivel especie se sitúa en tercer lugar junto con los bosques subcaducifolios y espinosos, con 40% de especies endémicas (Flores y Gerez, 1994).

En cuanto a fauna, el bosque tropical caducifolio tiene 253 especies registradas de vertebrados; es el quinto en especies endémicas en México y de distribución restringida a este tipo de vegetación (Flores y Gerez, 1994).

Trejo (1996) establece que el 48% de su extensión se distribuye en clima cálido subhúmedo ( $Aw_0$ ), un 20% en secos cálidos ( $BS_1$ ,  $BS_0$ ,  $BW$  con  $(h')h$ ,  $(h')$  y  $h(h')$ ), otro 20% en semicálidos subhúmedos ( $A(C)w_0$ ,  $A(C)w_1$ ,  $A(C)w_2$ ,  $(A)Cw$  y  $(A)Cw_2$ ) el 12% restante en templados subhúmedos ( $Cw_0$  y  $Cw_1$ ) y secos ( $BS_1k$ ), así como secos semicálidos ( $BS_1$ ,  $BS_0$  y  $BW$  con  $h$ ). Por tanto se encuentra en zonas con precipitación anual entre los 700 mm y los 1200 mm, en ocasiones de 300 a 1500 mm. Sus condiciones térmicas están entre los 18° y 28°C de temperatura media anual, se concentran entre 22°

y 26° C. Rzedowski (1994) en cuanto a su distribución, establece que los límites altitudinales superiores, coinciden con frecuencia con la isoterma de 0° C de temperatura mínima extrema.

Se ha encontrado que el 60% de estas comunidades se establecen en formaciones del terciario y cerca del 25% sobre cretácico. Se asientan en un 52% en rocas de origen ígneo y 41% en rocas de tipo sedimentario (Trejo, 1996).

Se desarrollan frecuentemente en suelos regosoles (30%) y en litosoles (23%) (Trejo, 1996). Ambos suelos son someros y pedregoso que se presentan sobre laderas de cerros con pendientes de moderadas a altas, y en las llanuras aluviales se ha observado es substituido por el bosque espinoso (Rzedowski, 1994).

Flores y Gerez (1994) reportan que para 1980, la SBC cubría el 12.36% de la superficie del país y ocupaba el tercer lugar, el segundo sin considerar a la agricultura. El 8.92% le correspondería a la SBC íntegra y 3.44% a la SBC perturbada. Para 1990 estas comunidades sólo se presentaban en el 6.98% del territorio nacional, y tenían el quinto lugar, el tercero sin tomar en cuenta a pastizales inducidos, cultivos y vegetación secundaria.

Parte del área de estudio queda comprendida dentro de lo que se pretende declarar, como área natural protegida con el carácter de Reserva de la Biosfera, la región denominada "Tehuacán-Cuicatlán", con una superficie territorial de 490.184-87-54.7 Ha (Diario Oficial de la Federación del 22 de Abril de 1997).

### **Relación vegetación-precipitación**

En la distribución de la vegetación, el clima, es un factor determinante (Oliver, 1972; Walter, 1977; Woodward, 1987; Rzedowski, 1994). Por ejemplo, descripciones generales de zonas vegetales obedecen a las del clima, como los bosques boreales, templados y los de lluvia (Woodward, 1987 ; Rzedoswki, 1994).

Sin embargo, no es posible obtener correlaciones estrechas en forma puntual, ya que es necesario involucrar la variable tiempo, pues la distribución actual de la vegetación está dada por condiciones ambientales, principalmente del pasado que del presente (Woodward, 1987), pues éstas están adaptadas a ellas (Salisbury y Ross, 1994). Esto se observa por ejemplo en lo que indica Margalef (1977), que la precipitación tiene relación con la vegetación, ya que las plantas tienen adaptaciones a la escasez de agua, consistiendo por ejemplo, la reducción en la reproducción y limitación de su ciclo a la época favorable.

### **Sistema de percepción remota satelital**

Los sistemas de percepción remota satelital, son medios de observación remota que permiten obtener una imagen. Están compuestos por 6 elementos (Chuvieco, 1996) (fig.4), a continuación se hará mención de cada uno, y en paréntesis se indicará su correspondencia en este estudio:

1. Fuente de energía (sol)
2. Cubierta terrestre, recibe la señal energética procedente de la fuente de energía y la refleja de acuerdo a sus características físicas (cubierta vegetal en particular SBC)
3. Sistema sensor, compuesto por un sensor (AVHRR - *Advanced Very High Resolution Radiometer*) y una plataforma de sustento (NOAA-14), que se encarga de captar la energía de las cubiertas terrestres, la codifica y envía al sistema de recepción.
4. Sistema de recepción-comercialización, recibe la información de la plataforma, graba en un formato (archivo del Laboratorio de Observación de la Tierra, Instituto de Geografía, UNAM).
5. Intérprete que corrige y analiza la información para después convertirla en una clave cuantitativa.
6. Usuario final, es el que analiza el documento fruto de la interpretación.

El sensor AVHRR está dentro de los llamados pasivos, ya que se limita a recibir la energía proveniente de los rayos solares. Y de acuerdo al procedimiento para grabar la energía

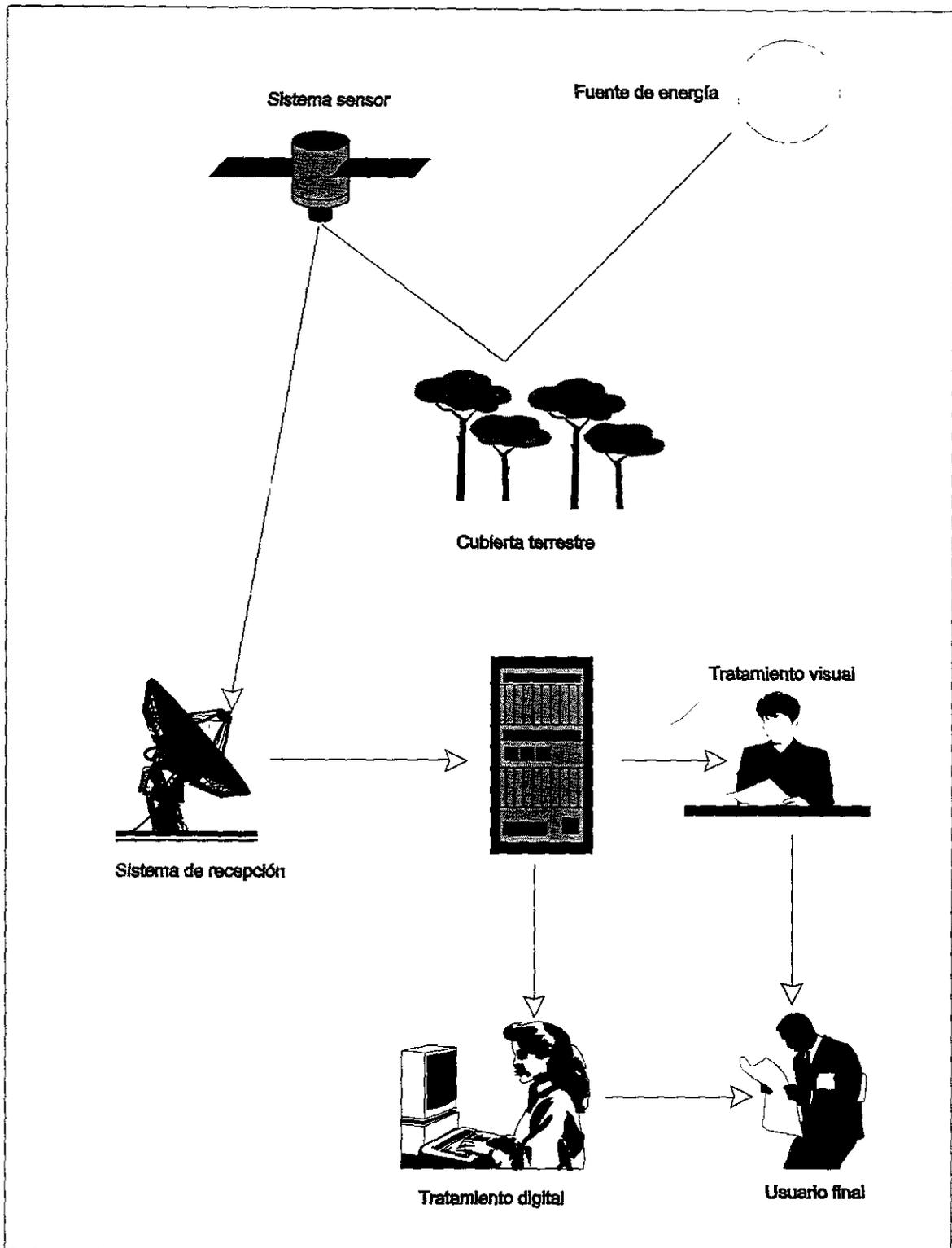


Fig. 4 Elementos que constituyen un sistema de percepción remota satelital

recibida es del tipo óptico-electrónico, ya que utiliza un equipo de barrido o explorador de empuje (*scanner*) esto es, combinan una óptica más o menos similar a la fotografía, con un sistema de detección electrónica, que evita la dependencia de una superficie sólida. Su funcionamiento se basa en un espejo móvil que oscila perpendicularmente a la dirección de la trayectoria (nadir) (fig. 5), lo cual les permite explorar una franja de terreno a ambos lados de la trayectoria del satélite; la radiancia recibida, se dirige a una serie de detectores. que la amplifican y convierten a una señal eléctrica, la cuál se transforma en un valor numérico, por lo que el sensor convierte una señal analógica, la radiancia, en un valor digital, denominado nivel digital (ND), para su manejo, si así lo requiere el estudio, estos valores pueden traducirse en niveles de radiancia (Chuvieco, 1996)

La señal enviada por el equipo óptico a los detectores se registra en un intervalo regular. En cada intervalo se graba un valor numérico cada cierta distancia, que es el tamaño de la unidad mínima de información (pixel), el cual es el resultado de un promedio de características espectrales de una superficie, que para el AVHRR en el nadir representa una superficie de 1 Km<sup>2</sup>, almacenado en grupos de 10 bits, lo que da una codificación de la información en 1024 niveles, esto es 1024 niveles de grises en una imagen (Chuvieco,1996) los cuales pueden ser convertidos a formato byte, para facilitar su manejo en algunos sistemas de información geográfica (SIG) como The Integrated Land and Water Information Systems (ILWIS), teniendo entonces solo 256 niveles de grises.

En los equipos de exploración de barrido, la señal recibida se descompone antes de ser enviada a los detectores especiales, en varias longitudes de onda. A lo que se le llama barrido multi-espectral, en el caso del AVHRR, tiene cinco bandas espectrales.

Por lo anterior se dice que el AVHRR tiene resolución espacial de 1 km<sup>2</sup> en el nadir, resolución espectral de 5 bandas, resolución radiométrica de 1024 niveles y resolución temporal de cada 12 horas.

La familia de satélites meteorológicos de órbita polar (fig.6), Tiros - NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration Satellite*), se desarrollaron a partir de 1960 con el

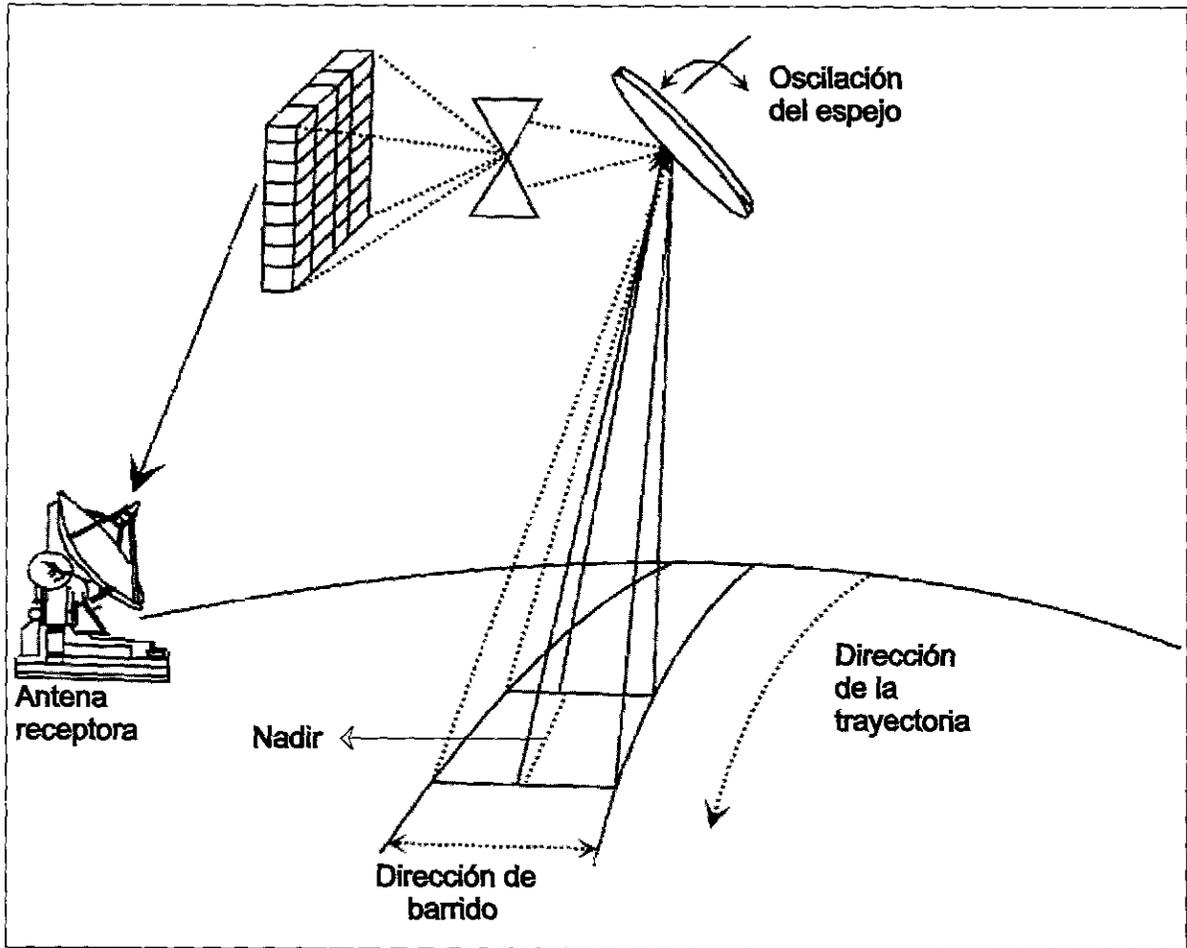
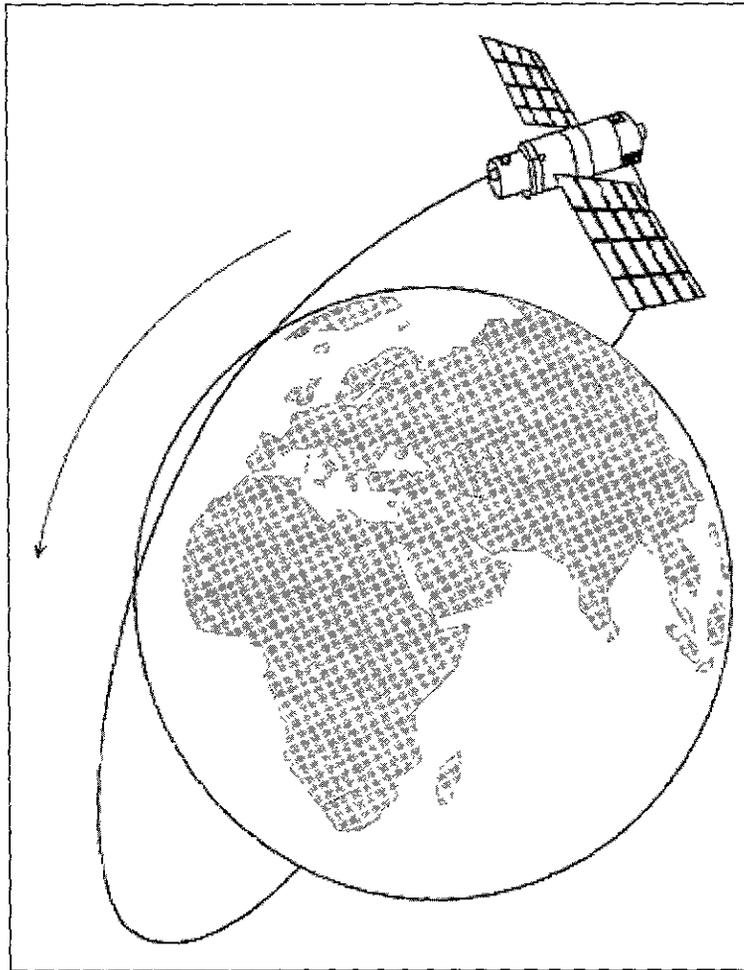


Fig.5 Sistema de percepción remota satelital, de equipo de barrido



**Fig.6** Orbits of polar satellites

lanzamiento del satélite TIROS-1, teniendo como continuación en su sexto satélite la serie llamada NOAA, a partir de 1979. Han diversificado sus aplicaciones, dentro de las cuales está el estudio de la vegetación, a partir del sensor AVHRR

### **Índices de vegetación**

Para analizar las imágenes, existen los de análisis cualitativos y los llamados tratamientos digitales, entre ellos están los índices de vegetación. Estos, tienen como objetivo crear bandas artificiales, a partir de combinaciones entre las naturales, para mejorar la discriminación de algunos aspectos temáticos dentro de la imagen.

Dentro de los índices de vegetación está el NDVI, el cual es una transformación lineal de las bandas visible e infrarrojo cercano, para mejorar la discriminación entre suelos y vegetación, entre tipos de vegetación o entre etapas fenológicas de la vegetación (emergencia y/o senescencia).

El principio radiométrico de este índice, se basa en el comportamiento de la vegetación en el espectro electromagnético. Como se observa en la fig.7, la vegetación vigorosa o emergente tiene un contraste entre la banda visible (rojo 0.6 a 0.7  $\mu\text{m}$ ) y la banda infrarrojo cercano (0.7 a 1.1  $\mu\text{m}$ ), ya que en el visible los pigmentos de la hoja absorben la mayor parte de la luz, reflejando en el rojo y en mayor proporción en el infrarrojo cercano, y la vegetación enferma o senescente y suelos tiene un comportamiento inverso al anterior descrito. Entonces el mayor contraste entre el infrarrojo cercano y el rojo es una vegetación con mayor vigor y al contrario una senescente.

En diversos estudios, la aplicación del NDVI es común. Es así que se tienen estudios sobre la fenología de la vegetación a nivel global (Justice *et al.*,1985), o de diversas regiones como la de Nueva Zelandia con un área de 1000 Km<sup>2</sup> donde se obtuvieron correlaciones de  $r=0.81$  entre el NDVI y el crecimiento de los pastos; como en otras regiones, en Kansas se ha usado para diferenciar dos años, uno de ellos con sequía (Redd,1993); en España también se han realizado estudios, en la región de Valencia para

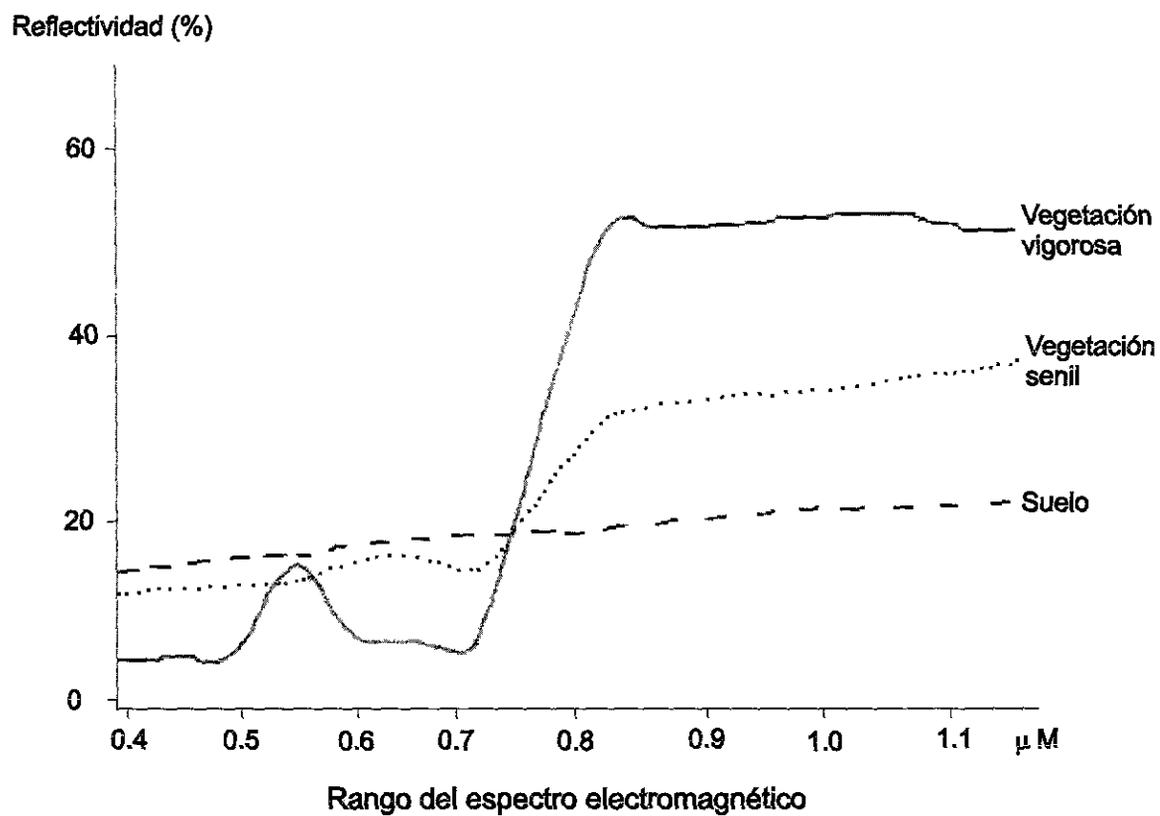


Fig. 7 Comportamiento espectral de la vegetación

estimar el peligro de fuegos forestales, a partir de la estimación del estrés hídrico de la vegetación (Illera *et al.*,1996); otra de estas regiones es la del Sahel, donde se han establecido correlaciones con la biomasa (Wyle *et al.*1991) de las herbáceas (Tucker *et al.*1985) diferenciando ND de diversas coberturas, como el suelo (Hiernaux *et Justice*,1986) o correlaciones con la productividad primaria (Justice and Hiernaux,1986; Prince,1991; Gilabert, *et al.* 1995) en la sabana (Diallo *et al.*1991) , y debido a que ha sido herramienta útil para detectar áreas de productividad deficiente, se ha propuesto para el seguimiento de la sequía (Tucker *et al.*,1986), así también ha mostrado que es útil para diferenciar tipos de cobertura vegetal y variaciones de la precipitación (Towshend and Justice,1986), tanto temporal, como espacialmente (Malo and Nicholson,1989), también se han obtenido correlaciones con la precipitación de 0.95, y correlaciones con la producción al final de la cosecha (Maselli *et al.*, 1992), así como con la variación interanual del NDVI y El Niño/Oscilación del sur (ENSO) (Anyamba and Eastman,1996); o a nivel nación como en los E.U. para observar la variabilidad fenológica en varios tipos de cobertura vegetal (Redd *et al.*,1994).

## **Objetivos**

Este estudio tiene como objetivo general caracterizar el comportamiento de la lluvia en el valle de Tehuacán-Cuicatlán con base a datos meteorológicos y a la respuesta de la vegetación, a través del uso de imágenes AVHRR-NOAA.

### **Objetivos particulares**

Analizar el comportamiento de la precipitación media, a nivel estacional, mediante el trazo de isoyetas.

Observar la respuesta estacional de la selva baja caducifolia, en el valle en relación a la lluvia, con base al índice de vegetación NDVI AVHRR-NOAA.

Proponer como herramienta rápida y de disposición inmediata, el uso del índice de vegetación NDVI AVHRR-NOAA para determinar condiciones de humedad y/o aridez.

## Metodología

### Elaboración de las cartas base

Se digitizó en el Sistema de Información Geográfica (SIG) The Integrated Land and Water Information Systems (ILWIS) V.1.3 (Palacio y Luna,1993), la limitación climática del Valle de Tehuacán-Cuicatlán (Hernández,inédito) escala 1:250 000. Para elaborar la carta base. Dentro de estos límites se digitizaron los siguientes segmentos y puntos :

- Curvas de nivel cada 500 m de las cartas topográficas Orizaba y Oaxaca INEGI, 1981 escala 1:250 000.
- Vías de comunicación (carretera pavimentada, terracería transitable en todo tiempo, brecha, vereda y ferrocarril) de la carta topográfica INEGI, 1981 escala 1:250 000.
- Vía de comunicación vía rápida 190 Oaxaca-Chacnopalan de: Por las carreteras de México Guía Roji,1997 escala 1:1 000 000.
- El gradiente de humedad del Valle de Tehuacán-Cuicatlán de Hernández,inédito escala 1:250000.
- Límites municipales de la carta división municipal, Instituto de Geografía,1980 escala 1:4 000 000.
- Límite de la reserva de la biosfera Tehuacán-Cuicatlán, SEMARNAP, 1997 escala 1:250 000.
- Uso del suelo y vegetación, de las cartas uso del suelo y vegetación Orizaba y Oaxaca SPP, 1985 escala 1: 250 000.
- Uso forestal, de las cartas del inventario forestal Orizaba y Oaxaca, SARH e Instituto de Geografía, 1992 escala 1:250 000.
- Tipos de suelos de las cartas Edafológicas Orizaba y Oaxaca del INEGI, 1988 escala 1:250 000.
- Límite de la selva baja caducifolia, de las cartas uso del suelo Orizaba y Oaxaca SPP, 1985 escala 1: 250 000.
- Estaciones meteorológicas utilizadas para el análisis de la precipitación.
- Puntos georreferenciados en campo.

Se rasterizaron los vectores, con respecto al mapa base y se crearon sus tablas de colores imitando a las cartas originales.

Se hicieron sobreposiciones y correlaciones de mapas entre sí, las cuales a continuación se enlistan, y se indica el mapa o tabla resultante así como sus designaciones correspondientes. Términos a los cuales se hará referencia en adelante :

Mapa 1	Mapa 2	Mapa o tabla resultante
Límite SBC	Forestal	SELVFORE
Límite SBC	Edafológico	SELVSUE
Límite SBC	Fisiográfico	SELVFIS
Límite SBC	Gradiente Humedad (P/T)	SELVCLI
Límite SBC	Reserva	SELVRESE
Límite SBC	Municipios	SELVMUNI
SELVFORE	Estaciones	ESTSELFO
SELVFORE	Municipios	SELFOMU
SELVFORE	Muestreo	MUESEFO
SELVFORE	Gradiente Humedad (P/T)	SELFOCLI
SELVFORE	Suelo	SELFOSUE
SELVFORE	Reserva	SELFORES
SELVFORE	Fisiográfico	SELFOFIS
Cabeceras	Límite	CABEMUNI
Municipios	Límite	MUNITEH
Reserva	Límite	RESETEH
Muestreo	Fisiográfico	MUESFIS
Muestreo	Municipios	MUESVALL
Muestreo	Suelos	MUESUEL
Muestreo	Gradiente Humedad (P/T)	MUESCLI
Muestreo	Reserva	MUESRESE
Estación	Fisiográfico	ESTFIS
Estación	Municipios	ESTVALL
Estación	Suelos	ESTSUE
Estación	Gradiente Humedad (P/T)	ESTCLI
Estación	Reserva	ESTRESE

Fig. 8 Tabla de las correlaciones entre los mapas digitizados.

Las tablas resultantes de los mapas fueron procesadas en la hoja de cálculo para windows EXCEL V.5, para su presentación. Y los mapas resultado se editaron en el programa COREL DRAW V.4, para Windows 95.

### Estudio de la precipitación

La información de precipitación se obtuvo de la base de datos en formato digital del proyecto "Condiciones climáticas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán" de la sección de climatología del Instituto de Geografía de la UNAM, la cual contaba con 63 estaciones con información de 1950 a 1985, a nivel mensual. Se agregaron 38 estaciones más, alrededor del Valle y se actualizó la información a 1996 o al último registro disponible, a través de las siguientes fuentes: Comisión Nacional del Agua (CNA) mediante el "Extractor Rápido de Información Climática" ERIC, basado en CLICOM y de las gerencias Regional Pacífico Sur y Estatal en Puebla, así como la Comisión de Aguas Superficiales

Del total de estaciones (101) climatológicas el 28.7% tiene menos de 20 años de información de precipitación, el 39.6% entre 20 y 30 años y el 31.7% más de 30 años.

Los datos se capturaron y se procesaron a través de la hoja de cálculo EXCELL V.5. Se obtuvo la media mensual, y la sumatoria para cuatro periodos, los cuales se denominan: seco1, húmedo1, seco2 y húmedo2, comprendidos como sigue:

Periodo	Meses incluidos
Seco 1	Enero
	Febrero
	Marzo
	Abril
Húmedo 1	Mayo
	Junio
	Julio
	Agosto
	Septiembre
	Octubre
Seco 2	Noviembre
	Diciembre
	Enero
	Febrero
	Marzo
	Abril
Húmedo 2	Mayo
	Junio
	Julio

Fig. 9 Tabla de los 4 periodos para el trazo de las isoyetas

Se establecieron estos periodos de tiempo, para hacer compatibles los datos de precipitación con los de las imágenes, y así poder hacer las comparaciones correspondientes. Se utilizaron las medias mensuales de precipitación debido a que no fue posible obtener datos de lluvia para 1996 y 1997.

Se trazaron y digitizaron las isoyetas medias mensuales correspondientes a las cuatro periodos, de acuerdo a los datos obtenidos, escala 1:250 000.

### **Procesamiento de imágenes AVHRR**

Se trabajaron las imágenes AVHRR crudas, del satélite NOAA -14 del paso entre 19:00 y 21:00 hrs. internacional. Se obtuvieron del archivo del Laboratorio de Observación de la Tierra (LOT), Instituto de Geografía, UNAM. El cual cuenta con una estación de recepción de imágenes AVHRR.

Se utilizó el hardware Terascan para procesar las imágenes, cuyos pasos se mencionan a continuación :

- Se modificaron con el comando hrptin para convertir los datos de onda radio a formato binario.
- Se navegaron o georreferenciaron (programa XVU de Terascan) en forma visual, con el comando image-navigate con ayuda de un límite costero de la República Mexicana (archivo de nombre wdb2.cil).
- Las imágenes de los canales 1 y 2 (visible e infrarrojo cercano) se registraron bajo un master denominado Valle de Tehuacán-Cuicatlán con las siguientes características: proyección cónica de Lambert, con 183 columnas y 245 renglones, tamaño del pixel de 1.1132 Km<sup>2</sup>, coordenadas máximas de la esquina superior izquierda 19°21'12" N y 97°58'66"W, esquina superior derecha 19°21'12"N y 96°01'53.6"W, esquina inferior izquierda 16°53'30"N y 97°57'18"W, y esquina inferior derecha 16°53'36"N y 96°02'42"W, Latitud "standard" 1°23'30" N (distancia de la latitud central del master al paralelo "standard" más cercano 17°30').

- Se calculó el índice de vegetación NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), con formato de la variable tipo byte con valores entre 0 y 255 cada pixel. La ecuación para el cálculo del índice es:

$$NDVI = \frac{(\text{Canal 1} - \text{Canal 2})}{(\text{Canal 2} + \text{Canal 1})}$$

donde :

Canal 1 = Canal visible

Canal 2 = Canal infrarrojo cercano ( Tucker, 1979).

- Se hizo un análisis cualitativo de cada una de ellas de la cantidad de nubes, en la imagen y de pixeles con ruido o interferencia y pixeles alargados (Holben,1986). El número de imágenes seleccionadas a nivel mensual se muestran en la fig. 10. Se seleccionaron las imágenes con nula o poca nubosidad, y sin pixeles de ruido. Para ello en cada imagen se le marcó el límite del Valle de Tehuacán, el cual se exportó con salida de Arc/info, para ser transformadas las coordenadas UTM a geográficas mediante este sistema, se volvieron a exportar en ASCII los vectores, para introducirlos en Terascan, en donde se creó un archivo de puntos con el comando impasc.
- Se elaboraron las imágenes compuestas del NDVI máximo para cada pixel por mes (Holben, 1973) de enero 1996 a julio 1997, en la fig. 10 se indican las imágenes utilizadas para cada compuesto.

A continuación se muestra una calendarización de las fechas consideradas para elaborar los compuestos de las épocas húmeda y seca.

<b>Imagen compuesta por época</b>	<b>Imágenes mensuales utilizadas</b>
Seca 1996	Enero 1996
	Febrero 1996
	Marzo 1996
	Abril 1996
Húmeda 1996	Mayo 1996
	Junio 1996
	Julio 1996
	Agosto 1996
	Septiembre 1996
	Octubre 1996

continúa ...

.... continuación

Seca 1996-1997	Noviembre 1996
	Diciembre 1996
	Enero 1997
	Febrero 1997
	Marzo 1997
	Abril 1997
Húmeda 1997	Mayo 1997
	Junio 1997
	Julio 1997

Fig. 11 Tabla de los compuestos máximos, para cada época.

- Cada imagen se exportó en formato binario y banda por banda.
- Se importaron y georreferenciaron, con coordenadas máximas UTM de la imagen, en ILWIS.

### **Análisis digital de las imágenes**

- Se superpusieron las imágenes al mapa "SELVFORE" (Fig. 8, límite SBC + forestal), sin crear nuevos mapas, con el fin de obtener una tabla de valores.
- Se importaron las tablas a la hoja de cálculo EXCEL V.5
- Se ordenaron los datos estadísticamente en intervalos de clase, obteniendo el número de clases a partir de la regla de Sturges, y se formó una tabla de distribución de frecuencias con su histograma correspondiente. Se homogenizó el intervalo de clases para todas las imágenes, con el propósito de poder comparar. Y se calculó la media y moda por imagen mensual, para una tabla de distribución de frecuencias (Daniel, 1993)
- Se modificó la tabla de colores a cada imagen, de tal forma que aquellos pixeles con valores dentro de alguno de los intervalos de clase, ya mencionados, tomaron el color correspondiente a su intervalo.



- Se sobrepusieron las imágenes con el mapa de estaciones meteorológicas y se tomó la información de las estaciones que estuvieran dentro del área de SBC y SBC perturbada, en un pixel de raster de 1Km<sup>2</sup>.(Linacre, 1992).
- Se correlacionó la precipitación con el nivel digital (ND) del NDVI a nivel mensual. Los resultados fueron graficados con base al modelo de la recta, se obtuvo la pendiente y la ordenada al origen, a partir de estos valores se calculó el índice de correlación lineal (Infante y Zárate de Lara, 1997).
- Se desfasó la variable independiente una categoría y se calculó una vez mas su correlación lineal.
- Para cada estación dentro de la SBC y la SBC perturbada, se graficó en el eje X la variable tiempo (mes), en el eje Y los ND del NDVI, y en eje Y complementario la precipitación media mensual, para 1996 y 1997.
- Para el total de estaciones utilizadas, se graficó, en el eje X el nombre, en el eje Y los ND del NDVI, y en el eje Y complementario la precipitación media mensual, por mes.
- Se sobrepuso el mapa de puntos georreferenciados en campo con cada una de las imágenes y se hicieron gráficas con el propósito de seleccionar los ND del NDVI con el tiempo.
- Se digitizaron 4 transectos en el mapa base y se obtuvieron los ND del NDVI, la marca de clase de la precipitación (de acuerdo al mapa trazado) y el rango de altitud de la carta topográfica.

## Trabajo de campo, verificación de la información proporcionada por la imagen

a) Se realizaron dos muestreos de cobertura en el área de trabajo. Los sitios de trabajo se seleccionaron con base al mapa SELVFORE y a la accesibilidad al sitio, el lugar 1 corresponde a un área cercana a Zoquiapan y el lugar 2 a Sta. Ma. Ixcatlán. El muestreo se realizó bajo el siguiente método sistemático:

1. A partir de las vías de acceso se adentraba a la vegetación aprox. 100 m.

2. Del punto se tiraba el primer cordón de 10m hacia el oeste teniendo de ancho 2 m, el transecto.

3. El segundo transecto se iniciaba 10 m al norte del primero, y así sucesivamente hasta tener 5 transectos en promedio.

4. En cada transecto se midió:

- La cobertura de aquellos individuos que tuvieran una altura mayor de 1.30 m, de su ramificación principal y que su punto basal estuviera dentro del cordón que limitaba al transecto. La medición de la cobertura, consistió en tomar el diámetro mayor y el diámetro menor.
- Las especies, se identificaron con un número para cada punto.

5. Se tomaron los siguientes datos del lugar de muestreo, a nivel cualitativo :

- Tipo, exposición y % de pendiente
- Tipo de roca
- Profundidad, drenaje e inundación del suelo
- Pedregosidad superficial

a nivel cuantitativo :

- Las coordenadas en UTM tomadas con el geoposicionador o Sistema de Posicionamiento Global (SPG) NAV 5000 y la altitud además con un altímetro

b) Se georreferenciaron 3 puntos con el SPG NAV 5000, que estuvieran dentro de la SBC y la SBC perturbada, de acuerdo al mapa SELVFORE. En donde se realizaron anotaciones descriptivas.

## Resultados y discusión

En la tabla que muestra los grupos de vegetación y uso del suelo SPP, 1985 (Fig. 12) que se tienen en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, se puede observar el mosaico de tipos que se presentan, su área de distribución y las clasificaciones de uso del suelo. Se tienen matorrales, pastizales, bosque mesófilo de montaña (aunque en bajo porcentaje 0.005%), selva baja caducifolia, palmar, bosque de pino y encino y agricultura de temporal y de riego.

La selva baja caducifolia (SBC) es la que cubre el 24.63% del área comprendida en el Valle, más el área designada como SBC perturbada, el porcentaje aumenta a 29.38%, por lo que resulta el tipo de vegetación con mayor distribución en el Valle. Como se observa en la fig. 13, este tipo de vegetación es el menos fragmentado y se localiza principalmente en la parte sur del Valle, en el estado de Oaxaca. Está dividido por la carretera federal Distrito Federal-Oaxaca, en dos porciones, este y oeste; se presenta sobre las laderas de las sierras de Juárez y de Nochixtlán, forma tres franjas localizadas una en el Cañón de Tomellín, la otras dos en las cuencas de los ríos de Las Vueltas e Ixtlán y laderas de la sierra Ixtlán con altitudes entre 500 y 2500 msnm. También se sitúa en una pequeña área al sur del estado de Puebla, y en tres "islas" localizadas, una en la parte noroeste del Valle, en el municipio de Tepexi de Rodríguez, otra al este de la ciudad de Tehuacán y la tercera en el centro del valle en las cercanías a San Gabriel Chilac, en altitudes entre 1000 y 2000 msnm.

Vegetación o Uso del Suelo	Área Km <sup>2</sup>	%con respecto al total
Selva baja caducifolia	1783.17	24.63
Agricultura de temporal	1412.45	19.51
Agricultura de riego de cultivos anuales	760.39	10.50
Bosque de encino	466.73	6.45
Pastizal inducido perturbado	382.96	5.29
Matorral crasicaule con cardonal	379.57	5.24
Selva perturbada	343.58	4.75
Matorral desértico con matorral subinorme	313.53	4.33
Bosque de encino-pino perturbado	301.91	4.17
Matorral con vegetación secundaria arbustiva	189.12	2.61
Chaparral	148.69	2.05
Matorral desértico con crasicaule	112.11	1.55
Matorral desértico perturbado	109.11	1.51
Chaparral perturbado	91.68	1.27
Matorral crasicaule con erosión	66.35	0.92
Bosque de tascate perturbado	60.09	0.83
Matorral con nopalera	48.75	0.67
Bosque de encino-pino	47.18	0.65
Matorral desértico rosetofolio	45.95	0.63
Bosque de tascate	35.76	0.49
Matorral con matorral subinorme	32.61	0.45
Palmar	31.34	0.43
Mezquita	29.39	0.41
Bosque de pino-encino	13.23	0.18
Mezquita perturbado	11.21	0.15
Matorral Crasicaule	9.49	0.13
Bosque de pino perturbado	7.04	0.10
Bosque de Pino	6.58	0.09
Bosque mesófilo de montaña	0.35	0.00
<b>área total</b>	<b>7240.38</b>	

Fig. 12 Tabla de los grupos de uso del suelo y vegetación, SPP (1985), dentro del Valle de Tehuacán-Cuicatlán.

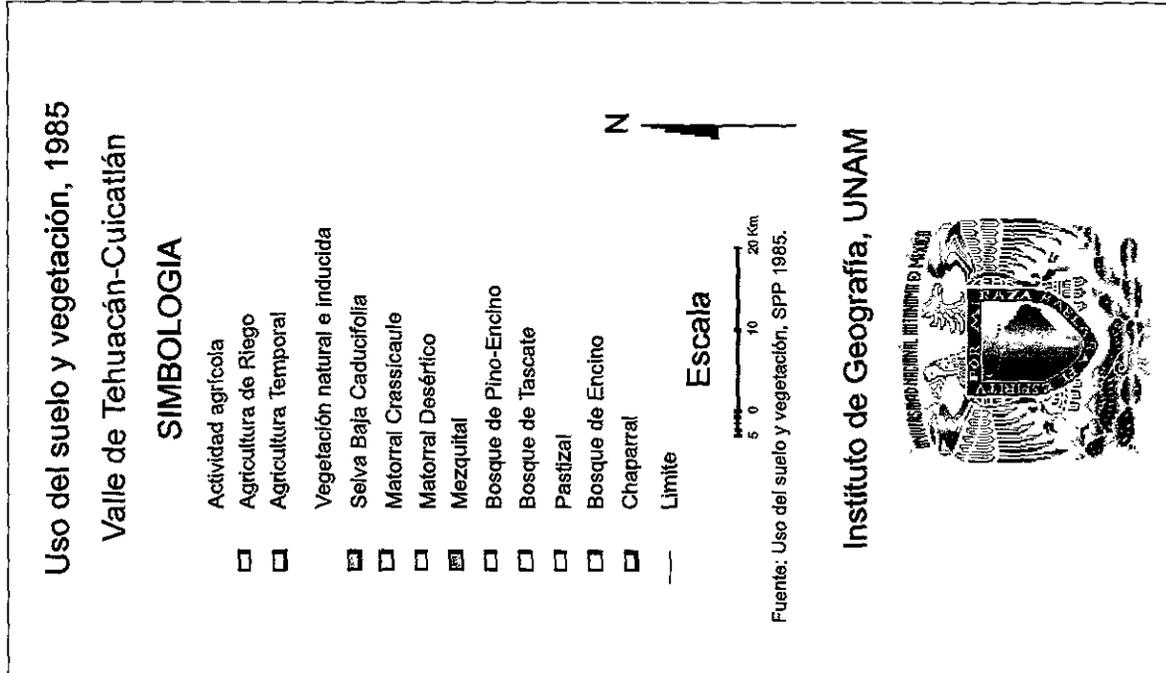
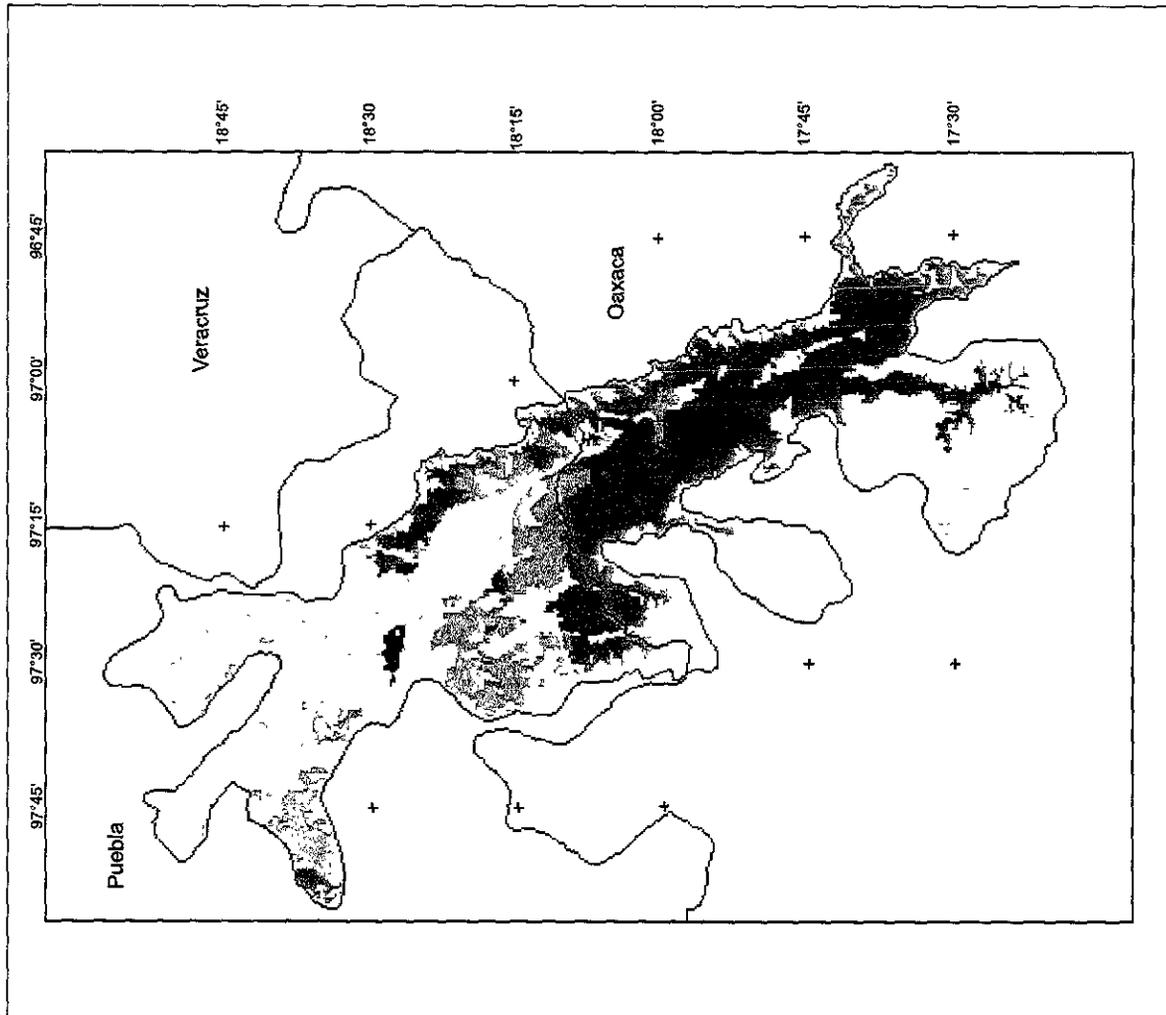


Fig.13 Uso del suelo y vegetación en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, 1985.

La SBC pertenece al grupo de comunidades tropicales que se caracterizan por una marcada estacionalidad, puesto que, en la época seca pierden su follaje (Trejo,1996), características idóneas para la identificación espectral de la reflectancia de su fenología, en un estudio multitemporal. Razones por las cuales se decidió tomar a la SBC como el tipo de vegetación adecuado para el presente estudio.

De acuerdo con Trejo (1996) las condiciones térmicas y pluviométricas medias anuales donde se distribuye esta vegetación son, de más de 22°C a 26°C y de 300 a 1500 mm, características que también se presentan en el Valle, más de 22° C y de 250 a 450 mm (Carrasco,1996).

Debido a que los tipos de cubierta vegetal, tienen comportamientos espectrales diferentes, es necesario contar con información lo más detallada y actualizada que se pueda sobre su delimitación. Por lo que se utilizó el mapa del inventario forestal periódico 1992 (Fig.14), y como éste no separa los tipos de vegetación perturbada, sino que los considera en una sola clase, área perturbada (Sorani *et al.*,1995), se hizo necesario sobreponer el mapa de vegetación y uso del suelo 1985, para identificar las áreas de SBC o SBC perturbada.

Se consideró de interés realizar un análisis cuantitativo de estos mapas, por lo que se midieron las áreas ocupadas por la vegetación, los valores obtenidos se muestran en las fig. 12 y 15. En el caso de la carta de uso del suelo, 1985 de la SPP, se tuvo que hacer una agrupación de la vegetación perturbada similar a la carta del Inventario forestal periódico, para tener correspondencia entre las dos, así mismo, cabe aclarar que existen

<b>Vegetación o Uso de Suelo</b>	<b>Área Km<sup>2</sup></b>	<b>% con respecto al total</b>
Áreas perturbadas	1377.91	19.07
Agricultura de temporal	1333.60	18.45
Matorral xerófito	1259.72	17.43
Selva baja caducifolia	1092.08	15.11
Agricultura de riego	779.62	10.79
Bosque de encino abierto	504.35	6.98
Pastizal	322.25	4.46
Arbustos con chaparral	203.98	2.82
Selva fragmentada	112.71	1.56
Bosque fragmentado	75.12	1.04
Bosque de encino cerrado	41.49	0.57
Arbustos con mezquital y huizachal	39.37	0.54
Palmar	30.94	0.43
Bosque otras coníferas, bosque abierto	23.59	0.33
Bosque de pino-encino abierto	8.82	0.12
Zona urbana	7.16	0.10
Bosque de pino abierto	6.36	0.09
Bosque de pino-encino cerrado	5.39	0.07
Bosque otras coníferas, bosque cerrado	2.24	0.03
<b>área total</b>	<b>7226.69</b>	

Fig. 15 Tabla de los grupos de vegetación y uso del suelo del Inventario Forestal, SARH e Instituto de Geografía, 1992.

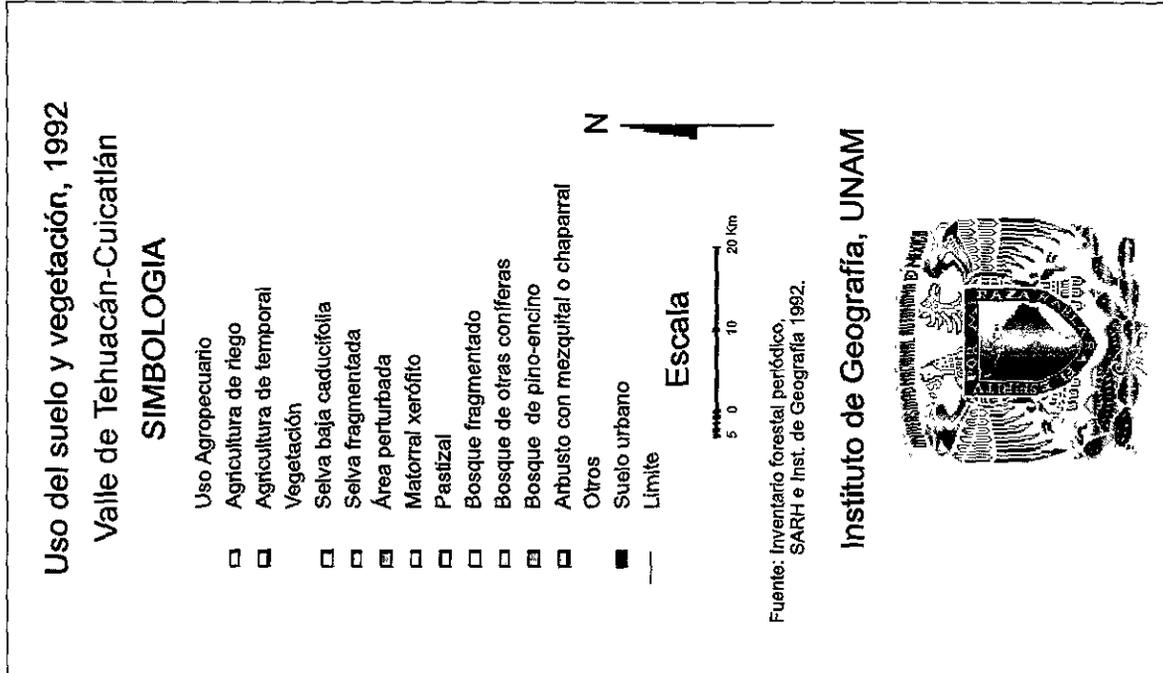
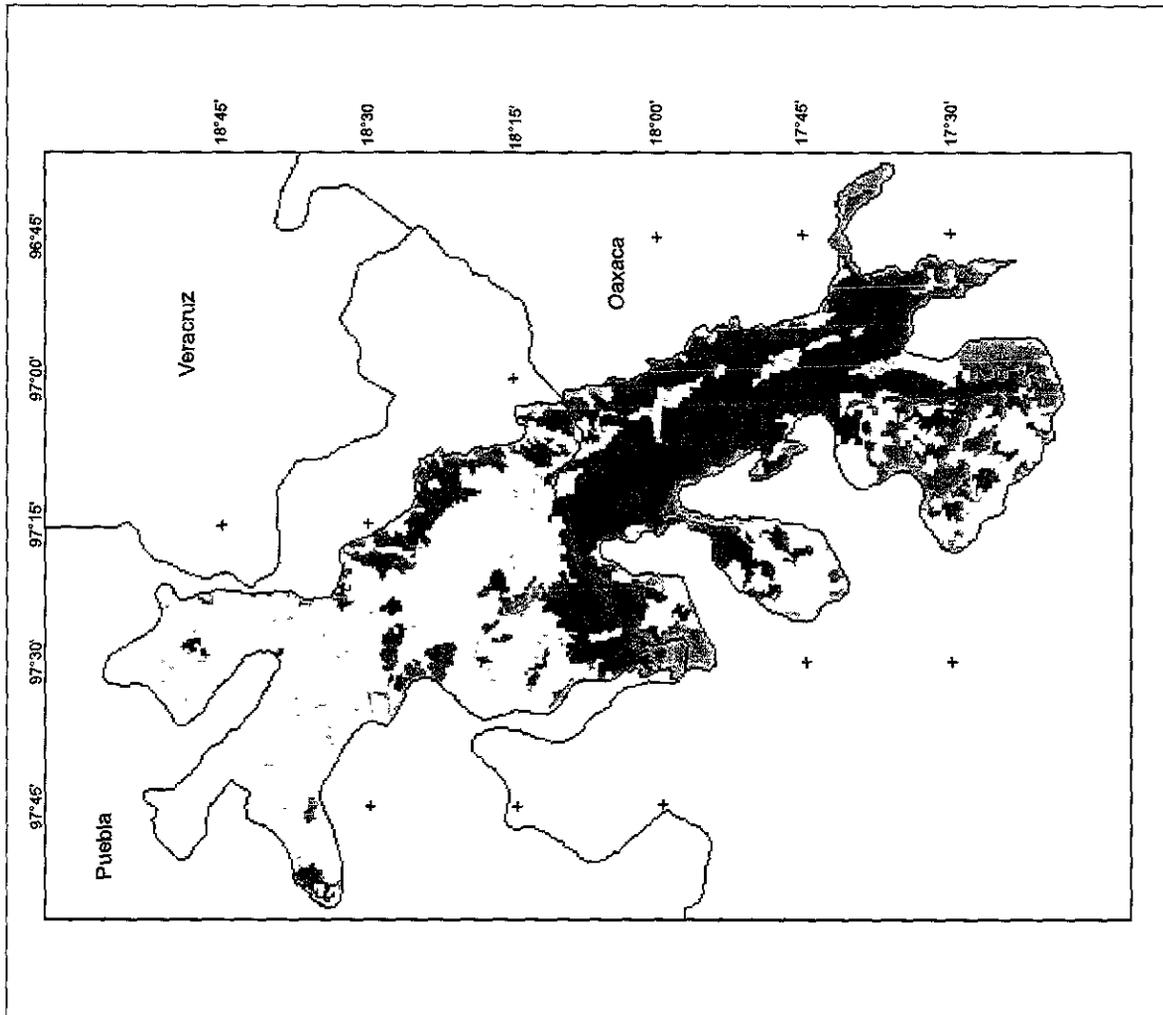


Fig.14 Uso del suelo y vegetación en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán del inventario forestal periódico, 1992.

53

diferencias en las denominaciones de las coberturas y uso del suelo en ambas cartas, las cuales no fueron posibles determinar las correspondencias entre ellas.

En forma cualitativa comparando las fig. 16 (a y b) se observan los cambios en la SBC.

Al comparar los valores obtenidos de las cartas inventario forestal (Fig. 15) con la de vegetación y uso del suelo (Fig. 12), resalta en forma general la pérdida de tipos de vegetación no perturbada, y por tanto un aumento en áreas perturbadas.

El cambio principal que se dió en la cubierta vegetal de perturbada a un uso no específico del suelo y el aumento no considerable en el área de la agricultura, (0.29% en la de riego, y en la de temporal tendió a una disminución) pueden indicar, un mal aprovechamiento de uso del suelo o bien un abandono de áreas de cultivo de temporal por la baja precipitación pluvial en algunos años (Carrasco, 1996) o por el bajo rendimiento de las cosechas.

Para reconocer claramente el grado de degradación de la cubierta vegetal, sería necesario utilizar otro tipo de herramientas como las imágenes de percepción remota con mayor resolución espacial, pero ese es otro tema de investigación.

Un análisis más detallado de estos cambios observados en las cartas (1985 y 1992) se hizo de la SBC (Fig. 17), donde el 41.95% de la SBC "potencial" se convirtió en área perturbada y un 4.37% a la categoría de selva fragmentada. La transformación a áreas de agricultura es mínima (0.75%) y a pastizales 0.35%. La selva perturbada, no presentó

Vegetación Km <sup>2</sup>	SBC 1992	Agr 1992	Agt 1992	Pz. 1992	SBC frag 1992	A.P. 1992	suma	error tipo B
<b>SBC 1985</b>	896.00	5.40	8.10	6.21	77.90	748.00	1741.6	41.56
<b>%</b>	50.25	0.30	0.45	0.35	4.37	41.95	97.67	
<b>SBC vsa</b>	*	2.25	2.43	0.54	14.50	103.00	122.72	40.41
<b>SBC vsaE</b>	*	0	0	0	0	2.07	2.07	1.47
<b>SBC vsar</b>	*	2.97	2.97	0.63	15.70	118.00	140.27	36.64
<b>suma =</b>		5.22	5.40	1.17	30.20	223.07	265.06	78.52
<b>%</b>	22.85	1.52	1.57	0.34	8.79	64.93	100	

Fig. 17 Tabla de los cambios en la Selva Baja Caducifolia (SBC) de 1985 a 1992.

SBC = Selva Baja Caducifolia

Agr = Agricultura de riego

Agt = Agricultura de temporal

Pz = Pastizal

SBC frag. = Selva Baja Caducifolia fragmentada

A.P. = Area perturbada

SBC vsa = Selva Baja Caducifolia con vegetación secundaria arbórea

SBC vsar = Selva Baja Caducifolia con vegetación secundaria arbustiva

SBC vsaE = Selva Baja Caducifolia con vegetación secundaria arbórea Erosión

Error tipo B= En la carta de 1992 área considerada en otro tipo de vegetación.

Tipo de Suelo	Área Km <sup>2</sup>	% respecto al Valle
I	1,992.21	27.51
R	1,221.74	16.87
E	1,186.43	16.38
V	802.28	11.07
H	567.36	7.83
B	372.21	5.13
L	352.33	4.86
X	343.10	4.73
A	303.22	4.18
J	75.02	1.03
K	23.79	0.32

Fig. 18 Tabla de los tipos de suelo y su área dentro del Valle de Tehuacán-Cuicatlán (INEGI, 1988)

I = Litosol

R = Regosol

E = Rendzina

V = Vertisol

H = Feozem

B = Cambisol

L = Luvisol

X = Xerosol

A = Acrisol

J = Fluvisol

K = Castañosem

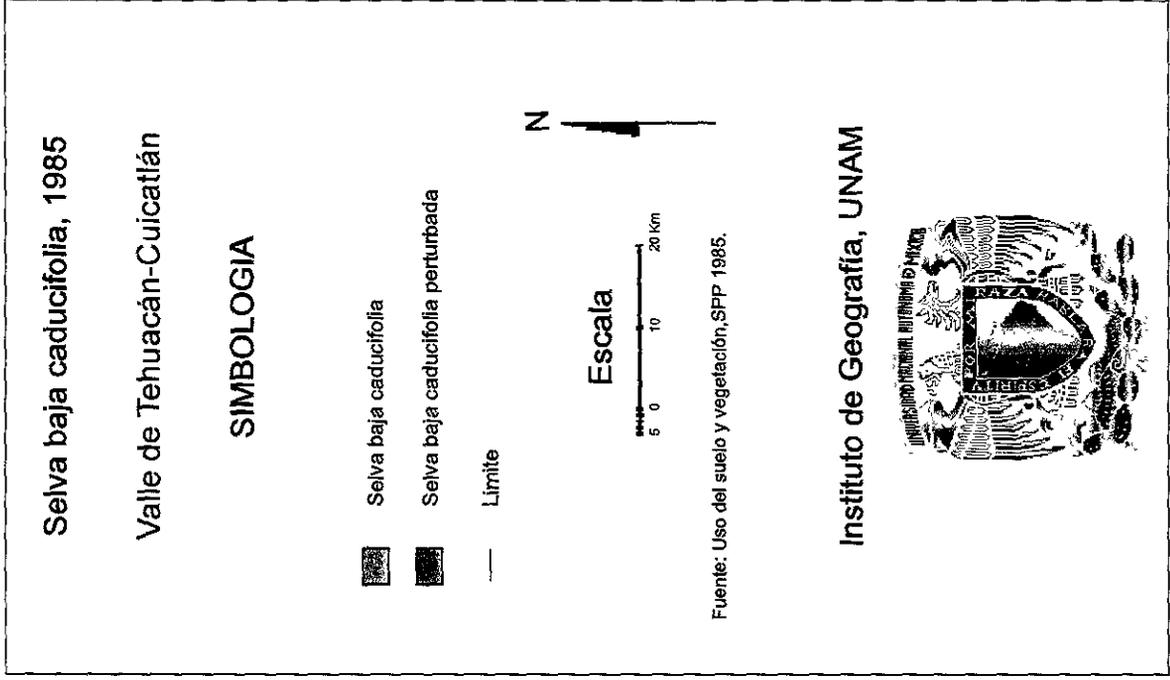
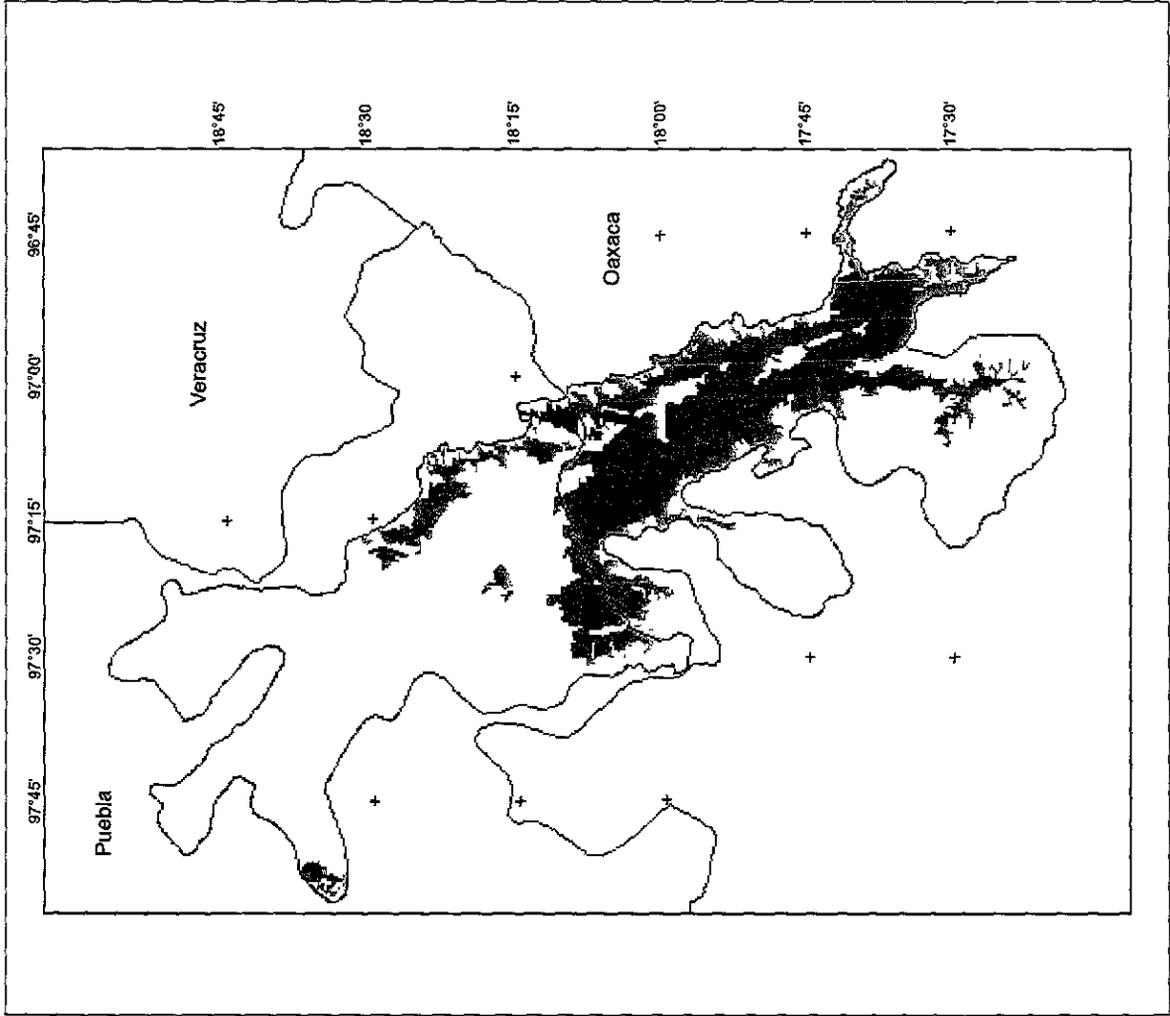


Fig. 16a Selva baja caducifolia en 1985.

57

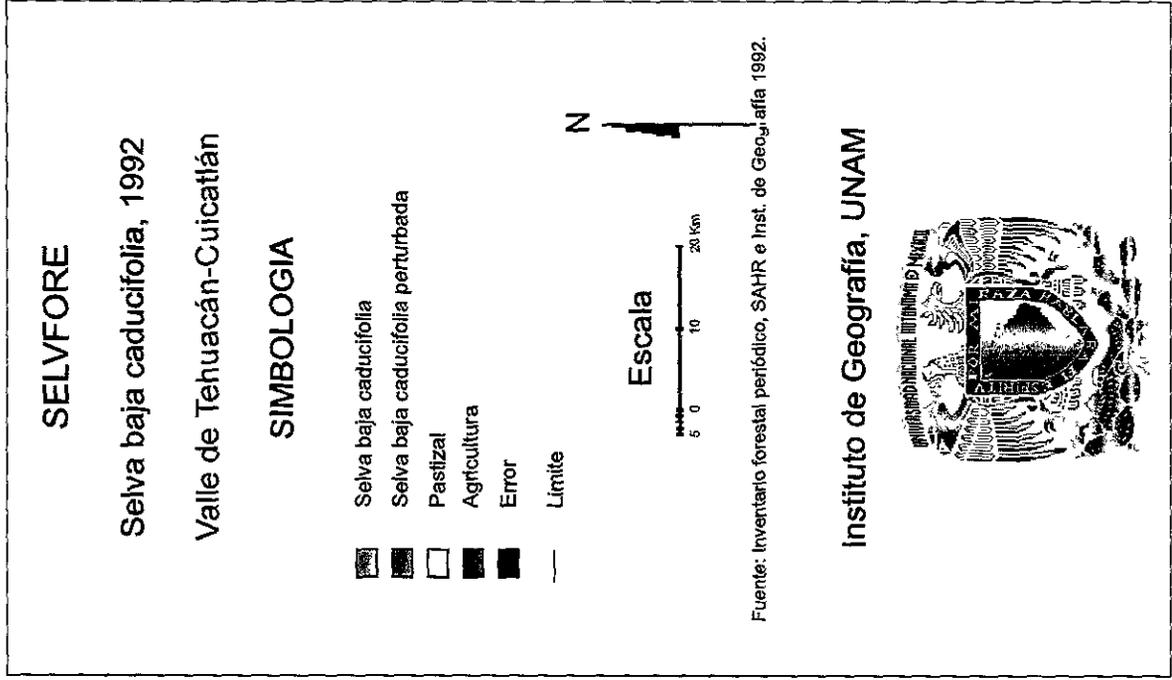
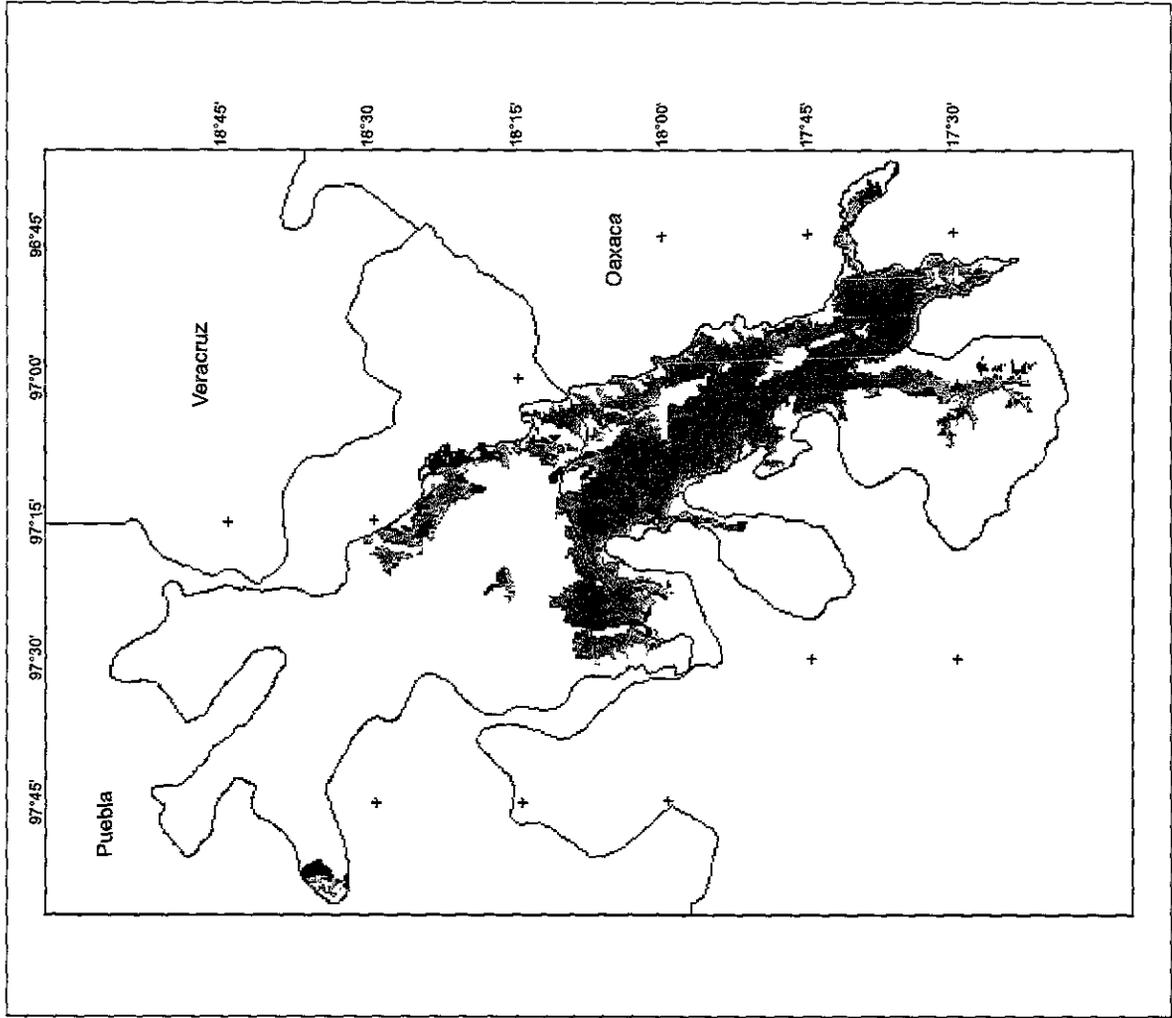


Fig. 16b Selva baja caducifolia en 1992.

grandes modificaciones pues el 73.86% quedó igual, el 3.28% cambió a zona cultivada y el 22.86% restante era selva perturbada que en la carta de 1992 fue considerada como SBC. Cabe hacer la aclaración que error tipo B es aquel donde SBC o SBC perturbada en el mapa de la SPP, 1985 fue comprendido en otro tipo de vegetación como palmar, bosque de pino, etc. en el de la SARH e Inst. Geografía, 1992, esto se pudo deber al agrupamiento de los tipos de vegetación y el trazo de los límites en la edición impresa que presenta la carta forestal, el cual contrasta con la delimitación y trazo detallado que muestra la carta de vegetación y uso del suelo, o bien se podría considerar en parte a un error en la superposición de los dos mapas.

La agricultura, ya sea de riego o de temporal, constituye el 30.01 % del área del Valle, el riego se da principalmente en la parte central, en las zonas más bajas a lo largo del Valle. De acuerdo a Kjell y Whiteford, (1989), la presencia de la agricultura está dada, a pesar de ser una zona árida, por la presencia de la red hidrológica alimentada de los escurrimientos por la sierra Madre Oriental.

También se consideró importante analizar el factor edáfico tanto en forma general para todo el Valle (Fig. 18) como el que caracteriza el ámbito donde se distribuye la SBC en la zona de estudio. Para ello se hizo primero un análisis cualitativo, de los mapas de vegetación y uso del suelo, SPP 1985 y el de tipos de suelos en el Valle, INEGI 1983 (Fig. 13 y 19), y se encontró que en forma general, los matorrales se encuentran distribuidos en un sólo tipo de suelo, principalmente los litosoles, en cambio, la SBC se distribuye en una gama más amplia de suelos: cambisoles, feozems, rendzinas, acrisoles, regosoles,

litosoles, xerosoles, etc. En forma cuantitativa (Fig. 20) se encontró una distribución con suelos Litosol en un 26.02%, con Regosol 25.62% y con Rendzina en un 23.87%. Trejo, (1997), cita que existen dos tipos de suelos en los que más frecuentemente se desarrollan las SBC, los regosoles (30%) y los litosoles (23%).

Para ver si existía alguna relación de los cambios en el uso del suelo de las cartas de vegetación (1985) y forestal (1992) con el factor edáfico, se midieron las áreas de SBC por tipo de suelo en cada carta. Los valores obtenidos se muestran en la fig. 20. Donde se puede determinar que la SBC se perdió sin tendencia clara en algún tipo de suelo, es decir, si existiera algún plan de conservación y por tanto de manejo no habría esta pérdida de vegetación irregular, que en tiempo posterior sería una pérdida inútil de la SBC, pues habrá un abandono de la tierra en el caso de la agricultura, lo que conllevaría a una regeneración poco probable de la SBC, y más una pérdida del suelo (Rzedowski, 1994).

Se sobrepuso la delimitación de la propuesta área natural protegida con el carácter de reserva de la biosfera la región Tehuacán-Cuicatlán, realizada por el Instituto Nacional de Ecología, con el valle y el área de distribución de la vegetación de estudio; se observó que la reserva ocupa el 47.98% (fig. 21 y 22) del área del Valle de Tehuacán-Cuicatlán (el cual se tomó como el 100%).

La superficie de la SBC y la SBC perturbada "potencial" de la reserva dentro del Valle, era de 49.62% (el 43.63% con SBC, para 1985). La SBC se ha reducido en el área de la

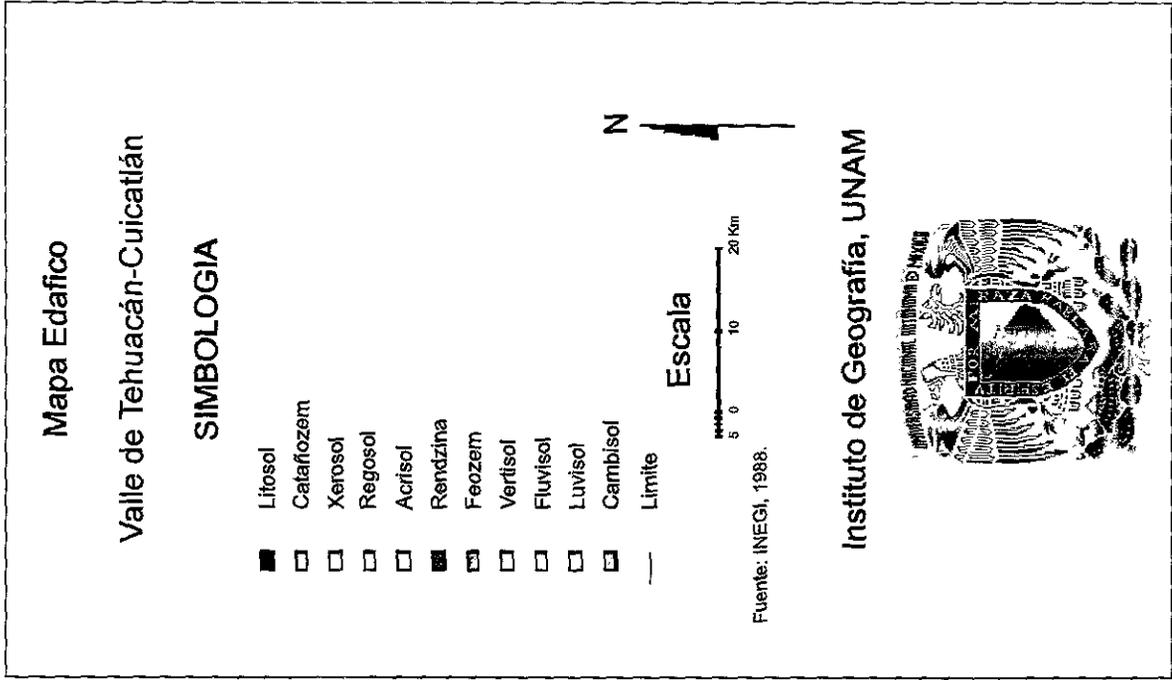
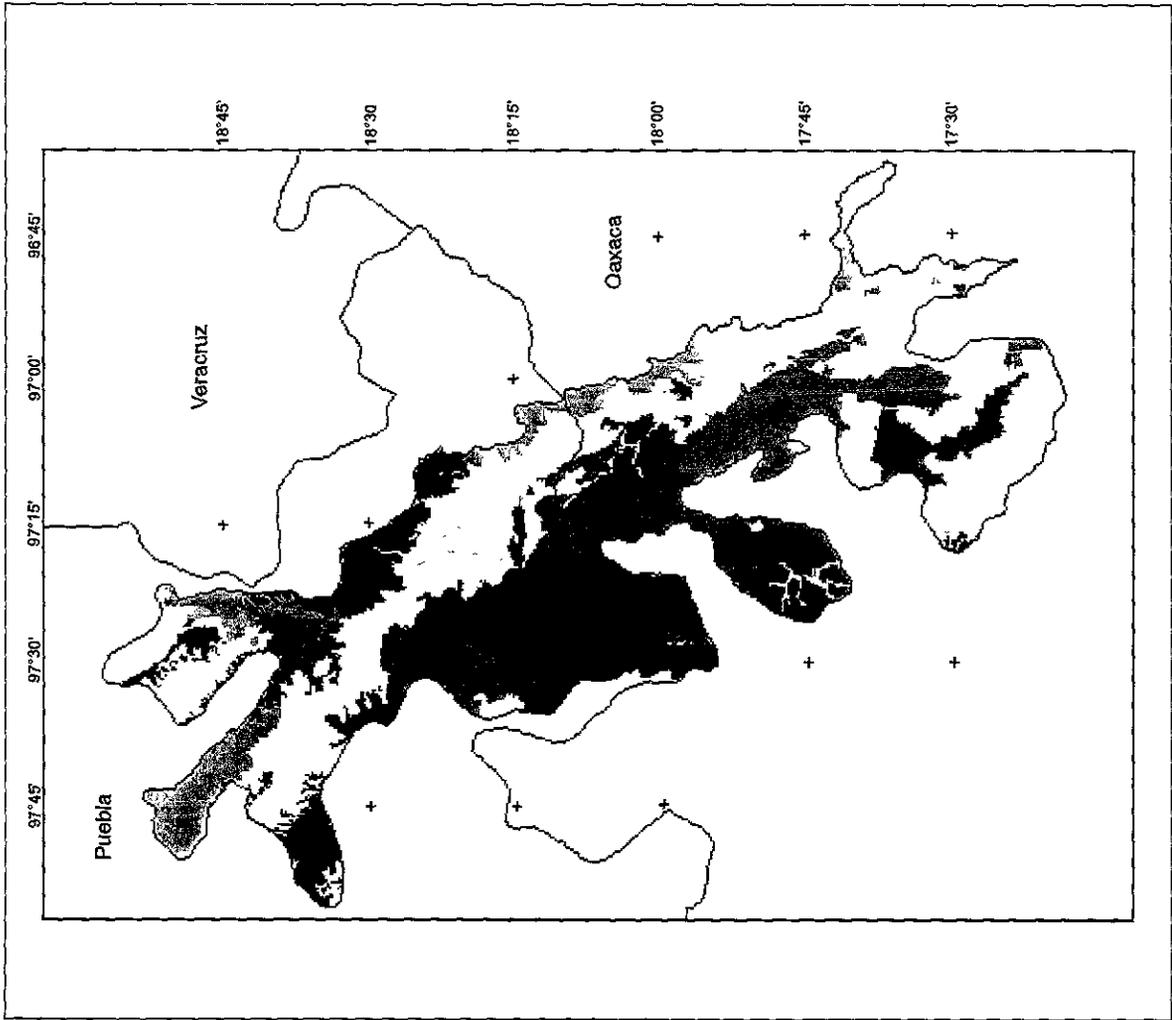


Fig. 19 Suelos en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán.

Vegetación	Tipo de suelo	Área Km <sup>2</sup> , 1985	Área Km <sup>2</sup> , 1992	% actual
SBC	Litosol	343.85	220.95	64.27
SBC	Rendzina	368.06	202.68	55.07
SBC	Regosol	438.17	217.53	49.65
SBC	Acrisol	201.96	95.58	47.33
SBC	Feozem	340.79	143.01	41.97
SBC	Cambisol	47.21	9.63	20.42
SBC	Fluvisol	33.26	4.59	13.82
SBC	Xerosol	1.49	0.09	6.25
SBC perturbada	Acrisol	2.7	101.7	3766.67
SBC perturbada	Feozem	38.07	227.34	597.16
SBC perturbada	Rendzina	50.67	198.54	391.83
SBC perturbada	Fluvisol	7.02	25.47	362.82
SBC perturbada	Regosol	107.19	286.11	266.92
SBC perturbada	Litosol	74.61	149.58	200.48
SBC perturbada	Cambisol	34.56	64.8	187.50
SBC perturbada	Xerosol	23.31	21.6	92.66
SBC perturbada	Vertisol	5.13	3.33	64.91
pastizal	Litosol	*	4.77	
pastizal	Regosol	*	1.35	
pastizal	Cambisol	*	0.54	
pastizal	Feozem	*	0.54	
pastizal	Fluvisol	*	0.09	
agricultura	Regosol	*	6.3	
agricultura	Litosol	*	2.97	
agricultura	Rendzina	*	2.88	
agricultura	Cambisol	*	2.7	
agricultura	Xerosol	*	2.7	
agricultura	Fluvisol	*	2.34	
agricultura	Feozem	*	2.16	
agricultura	Acrisol	*	1.26	
agricultura	Vertisol	*	0.81	

continúa...

....continuación

error tipo B	Litosol	*	92.07	
error tipo B	Regosol	*	53.1	
error tipo B	Rendzina	*	40.05	
error tipo B	Acrisol	*	27.18	
error tipo B	Feozem	*	19.17	
error tipo B	Cambisol	*	7.65	
error tipo B	Xerosol	*	2.16	
error tipo B	Vertisol	*	1.53	
error tipo B	Fluvisol	*	0.63	

Error tipo B= En la carta de 1992 área considerada en otro tipo de vegetación.

Fig. 20 Tabla de los tipos de suelo en la (SBC) dentro del Valle de Tehuacán-Cuicatlán.

Mapa	Área Km <sup>2</sup>
Reserva	4918.00
Valle	7239.83
Reserva-Valle	3473.46

Fig. 21 Tabla de la reserva de la biosfera Tehuacán-Cuicatlán. La reserva ocupa el 47.98%del Valle

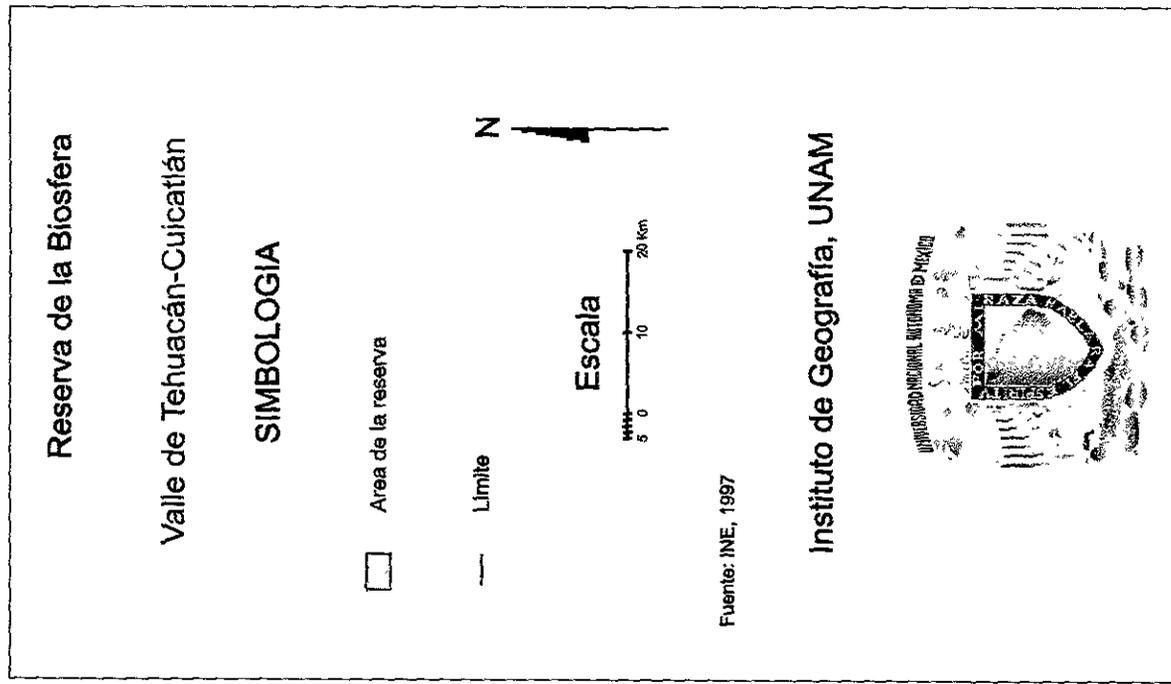
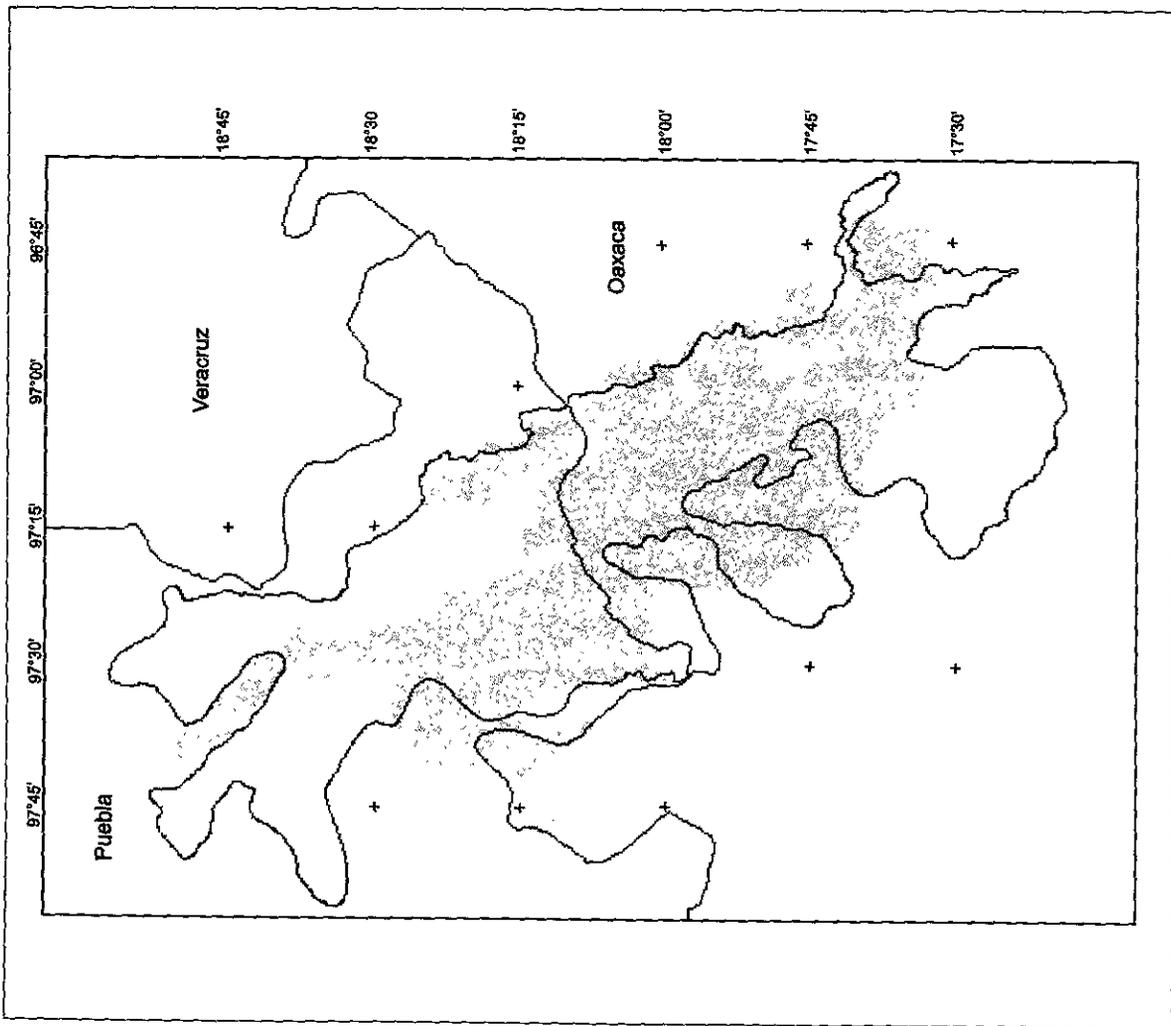


Fig.22 Área protegida con el carácter de Reserva de la Biosfera de la Biosfera, la región denominada "Tehuacán-Cuicatlán".

Reserva dentro del Valle, en un 51.01% (Fig. 23) para 1992, de ahí la importancia de que existan planes de conservación.

Se hizo una relación entre el gradiente de humedad y la distribución de la SBC "actual" cuyos valores se muestran en la fig. 24. Como era de esperarse se observó una mayor perturbación en el gradiente de humedad BW, el 87.92% de la SBC se perdió de un mapa a otro. La SBC perturbada aumenta en un 492.14% respecto a lo que existía en 1985. Esto puede deberse, a que de acuerdo al mapa del gradiente de humedad (Fig. 3), con respecto al mapa fisiográfico (Fig. 2), el BW está distribuido en las partes más bajas, donde se localizan las principales vías de comunicación (Fig. 25 a y b), es decir, de fácil acceso, y por ende factible a ser sembrada la zona.

La perturbación en los otros 2 gradientes de humedad también es alta, BS0 54.97% y en el BS1 37.58%.

De la comparación que se hizo de la distribución de la SBC y la SBC perturbada 1985 y 1992 con la altitud (Fig. 26), se obtuvo que la mayor pérdida de SBC se da conforme la altitud disminuye: 100% de pérdida en altitudes menores de 500 msnm, y 71.56% a altitudes de 500-1000 msnm.

Se consideró importante incluir en el presente estudio el área ocupada por la SBC "actual" a nivel municipal. En la Fig. 27 y 28 se muestra la localización y el área de los municipios que están dentro del Valle. Y en la fig. 29 se muestran los resultado solo para la SBC.

Vegetación en la reserva dentro del Valle	Área Km <sup>2</sup> , 1985	Área Km <sup>2</sup> , 1992	% para 1992
SBC	1515.51	742.41	48.99
SBC perturbada	208.17	914.31	439.21
Pastizal	*	4.5	100
Agricultura	*	10.89	100
Error tipo B	*	125.64	100

Error tipo B= En la carta de 1992 área considerada en otro tipo de vegetación.

Fig. 23 Tabla de la Selva Baja Caducifolia (SBC) para 1985 y 1992, dentro del Valle y dentro de la reserva de la biosfera.

Vegetación	Gradiente de humedad	Área Km <sup>2</sup> , 1985	Área Km <sup>2</sup> , 1992	% para 1992
SBC	BS <sub>1</sub>	763.02	476.28	62.42
SBC	BS <sub>0</sub>	897.84	404.28	45.03
SBC	BW	114.75	13.86	12.08
SBC perturbada	BW	25.2	124.02	492.14
SBC perturbada	BS <sub>1</sub>	121.14	585.45	483.28
SBC perturbada	BS <sub>0</sub>	196.83	369.54	187.75
pastizal	BS <sub>0</sub>	*	2.43	100
pastizal	BS <sub>1</sub>	*	4.86	100
agricultura	BS <sub>0</sub>	*	9.81	100
agricultura	BS <sub>1</sub>	*	14.31	100
error tipo B	BW	*	7.65	100
error tipo B	BS <sub>0</sub>	*	42.93	100
error tipo B	BS <sub>1</sub>	*	197.	100

Error tipo B= En la carta de 1992 área considerada en otro tipo de vegetación.

Fig. 24 Tabla de la relación entre el gradiente de humedad y la Selva Baja Caducifolia en 1985 y 1992.

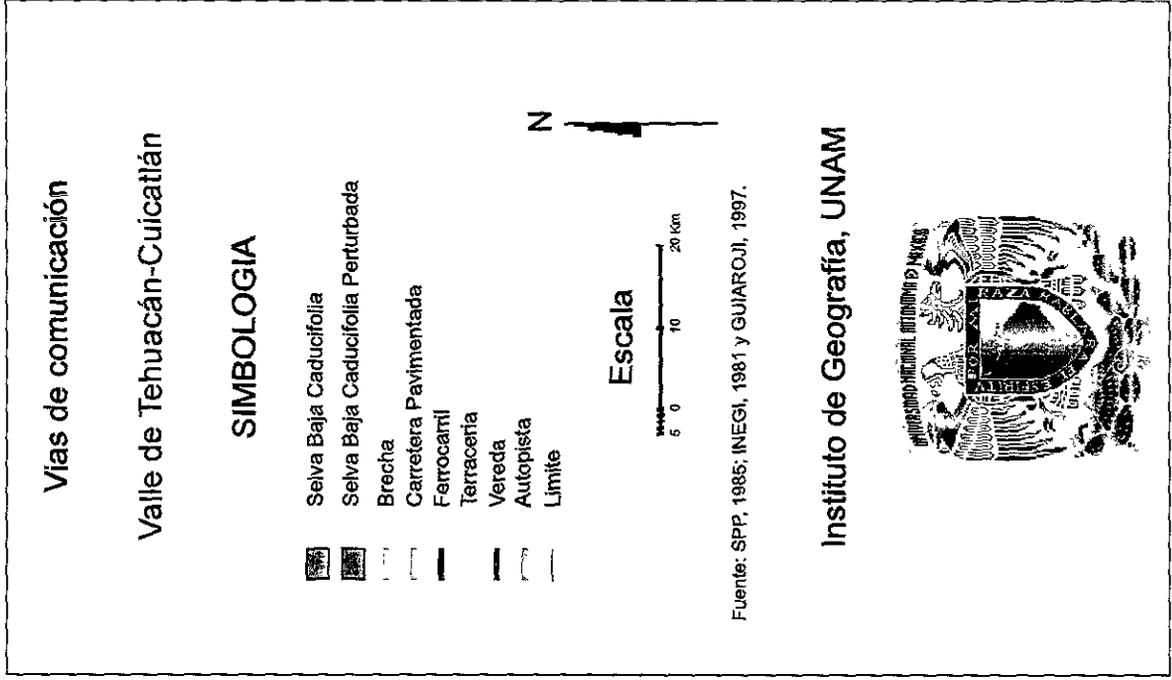
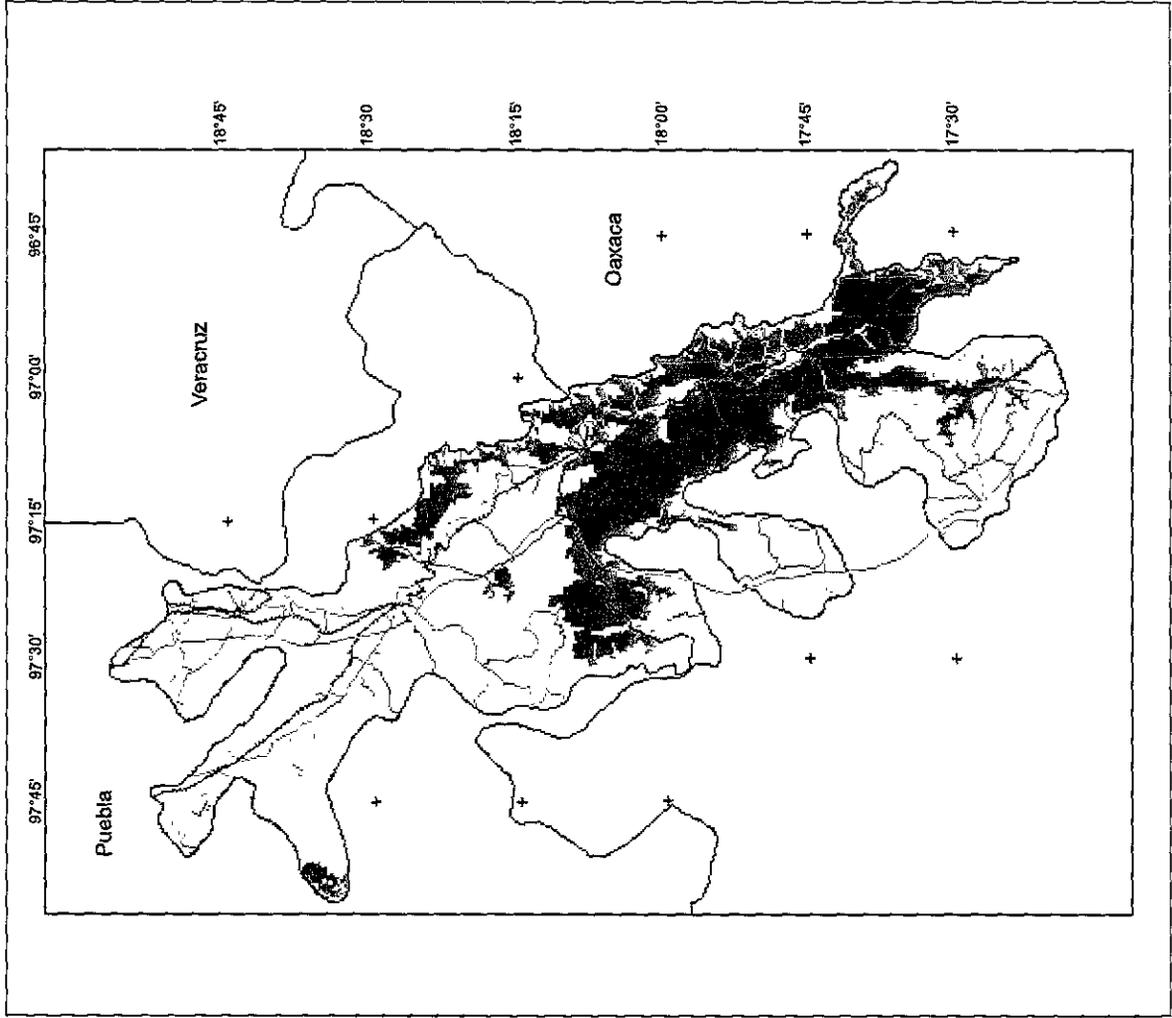


Fig.25a Vías de comunicación en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán y área de la Selva Baja Caducifolia en 1985.

70

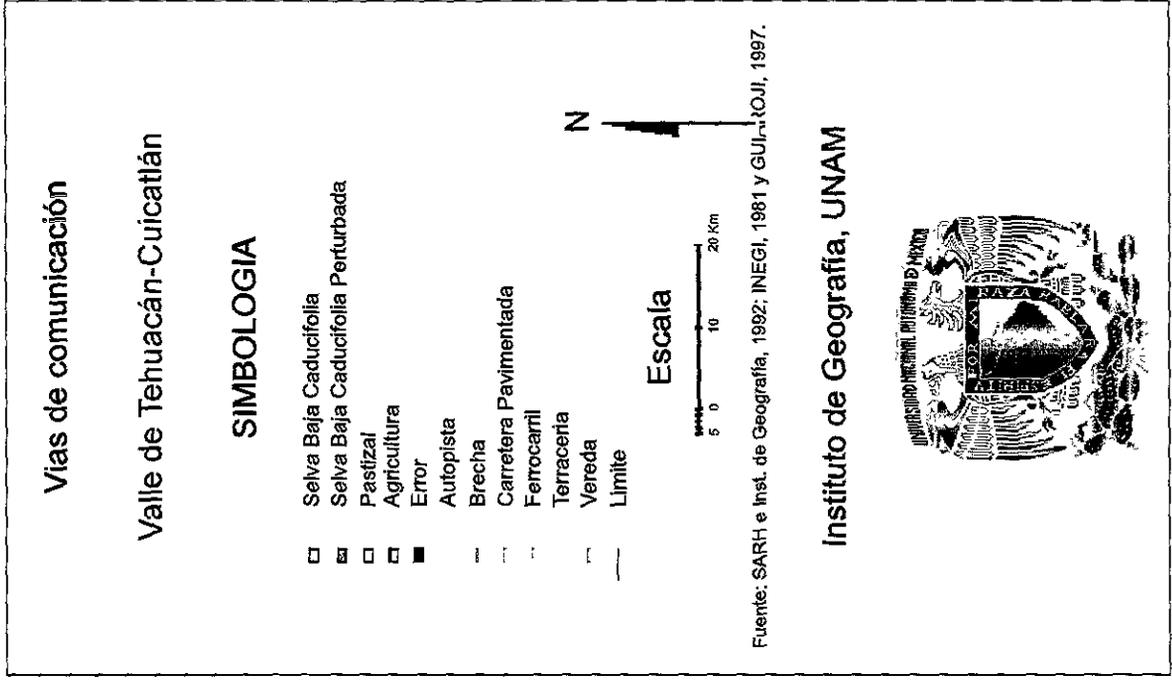
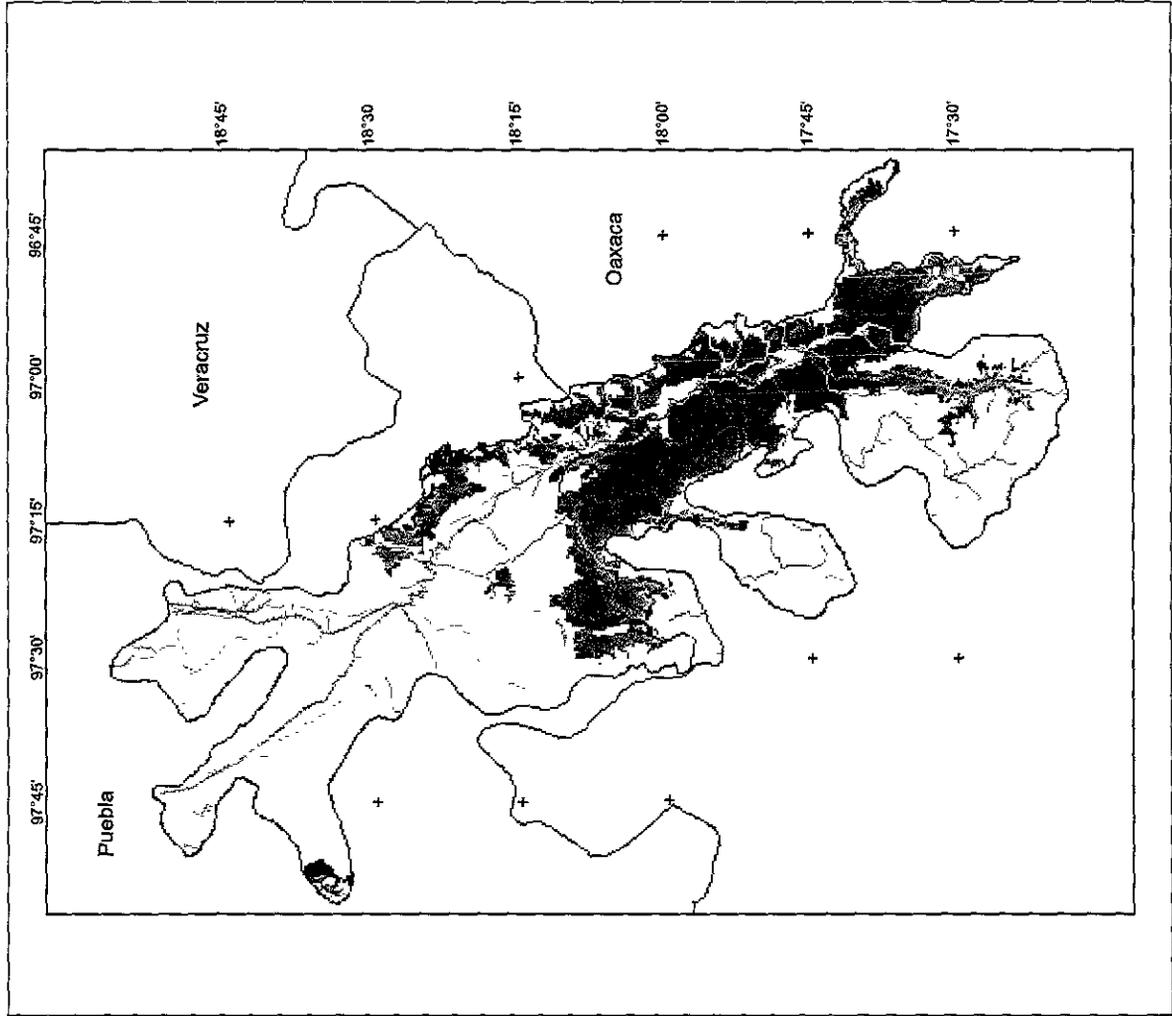


Fig.25b Vías de comunicación en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán y área de la Selva Baja Caducifolia en 1992.

Vegetación	Altitud msnm	Área Km <sup>2</sup> , 1985	Área Km <sup>2</sup> , 1992	% en 1992
SBC	- 500	0.9	0	0
SBC	500 - 1000	476.91	135.63	28
SBC	1000 - 1500	561.6	312.48	56
SBC	1500 - 2000	586.71	367.56	63
SBC	2000 - 2500	145.53	74.43	51
SBC	2500 - 3000	6.57	4.41	67
SBC perturbada	- 500	0	0.9	100
SBC perturbada	500 - 1000	118.44	432.81	365
SBC perturbada	1000 - 1500	141.66	347.31	245
SBC perturbada	1500 - 2000	76.77	233.46	304
SBC perturbada	2000 - 2500	7.2	62.37	866
SBC perturbada	2500 - 3000	0	2.16	100
pastizal	1000 - 1500	*	0.9	100
pastizal	1500 - 2000	*	4.95	100
pastizal	2000 - 2500	*	1.44	100
agricultura	500 - 1000	*	10.26	100
agricultura	1000 - 1500	*	7.38	100
agricultura	1500 - 2000	*	5.04	100
agricultura	2000 - 2500	*	1.44	100
error tipo B	500 - 1000	*	34.29	100
error tipo B	1000 - 1500	*	70.2	100
error tipo B	1500 - 2000	*	112.05	100
error tipo B	2000 - 2500	*	31.41	100
error tipo B	2500 - 3000	*	0.09	100

Error tipo B= En la carta de 1992 área considerada en otro tipo de vegetación.

Fig. 26 Tabla de altitudes (msnm) y distribución de la Selva Baja Caducifolia (SBC), en 1985 y 1992.

Num. Municipio	Estado	Nombre Municipio	Cabecera Municipal	Área Km <sup>2</sup> Mpio.	Área Km <sup>2</sup> en Valle	%
2-1	Oaxaca	San Juan Quiotepec	San Juan Quiotepec	292.68	47.97	16.39
2-12	Oaxaca	San Pedro Yolox	San Pedro Yolox	171.43	0.09	0.05
3-1	Oaxaca	Concepción Buenavista	Concepción Buenavista	178.67	131.22	73.44
3-2	Oaxaca	Tepelmeme Villa de Morelos	Tepelmeme Villa de Morelos	776.51	513.18	66.09
3-3	Oaxaca	Santiago Igüitlan Plumas	Santiago Igüitlan Plumas	42.07	4.05	9.63
3-4	Oaxaca	San Francisco Teopam	San Francisco Teopam	108.74	22.68	20.86
3-8	Oaxaca	Santiago Tepetlapa	Santiago Tepetlapa	45.13	21.51	47.66
3-9	Oaxaca	San Miguel Tequixtepec	San Miguel Tequixtepec	86.54	86.54	100.00
3-11	Oaxaca	San Cristóbal Suchixtlahuaca	San Cristóbal Suchixtlahuaca	7.64	7.64	100.00
3-12	Oaxaca	San Juan Bautista Coixtlahuaca	San Juan Bautista Coixtlahuaca	306.93	131.04	42.69
3-13	Oaxaca	Santa María Nativitas	Santa María Nativitas	71.18	6.84	9.61
4-4	Oaxaca	Santiago Texcalcingo	Santiago Texcalcingo	28.45	2.43	8.54
4-8	Oaxaca	San Antonio Nanahuatipac	San Antonio Nanahuatipac	69.75	69.75	100.00
4-9	Oaxaca	Teotitlán del Camino	Teotitlán de Flores Magon (Teotitlán del Camino)	96.87	83.43	86.12
4-16	Oaxaca	San Martín Toxpalan	San Martín Toxpalan	49.43	41.31	83.58
4-21	Oaxaca	San Juan de los Cues	San Juan de los Cues	94.12	85.86	91.23
4-22	Oaxaca	Mazatlán de Flores	Mazatlán de Flores	216.42	57.24	26.45
4-24	Oaxaca	Santa María Tecomayaca	Santa María Tecomavaca	193.06	181.53	94.03
4-25	Oaxaca	Santa María Ixcatlán	Santa María Ixcatlán	167.54	109.98	65.64
5-1	Oaxaca	Cuayamecalco Villa de Zaragoza	Cuayamecalco Villa de Zaragoza	80.91	4.05	5.01
5-10	Oaxaca	San Juan Bautista Cuicatlán	San Juan Bautista Cuicatlán	508.01	474.93	93.49
5-11	Oaxaca	Concepción Pápalo	Concepción Pápalo	129.85	1.71	1.32
5-13	Oaxaca	Santa María Pápalo	Santa María Pápalo	45.30	1.98	4.37
5-15	Oaxaca	San Juan Tepeauxila	San Juan Tepeauxila	144.83	0.45	0.31
5-16	Oaxaca	San Pedro Jocotipac	San Pedro Jocotipac	64.92	57.69	88.86
5-17	Oaxaca	Valerio Trujano	Valerio Trujano	40.92	40.68	99.42
5-18	Oaxaca	Santa María Texcatitlán	Santa María Texcatitlán	45.43	34.29	75.49
5-19	Oaxaca	San Pedro Jaltepetongo	San Pedro Jaltepetongo	43.04	43.04	100.00
5-20	Oaxaca	Santiago Nacaltepec	Santiago Nacaltepec	140.96	50.22	35.63
10-1	Oaxaca	San Miguel Huautla	San Miguel Huautla	62.09	7.56	12.18
10-2	Oaxaca	Santiago Apoala	Santiago Apoala	81.30	45.36	55.80
10-3	Oaxaca	San Miguel Chicahua	San Miguel Chicahua	129.58	12.06	9.31
10-4	Oaxaca	Santa María Apasco	Santa María Apasco	81.88	81.88	100.00
10-5	Oaxaca	Asunción Nochixtlán	Asunción Nochixtlán	737.11	407.25	55.25
10-7	Oaxaca	Santa María Chachoapan	Santa María Chachoapam	43.07	2.16	5.02
10-8	Oaxaca	San Juan Yucuita	San Juan Yucuita	36.12	16.2	44.86
10-10	Oaxaca	San Pedro Cántaros Coxcaltepec	San Pedro Coxcaltepec Cántaros	115.42	76.05	65.89
10-11	Oaxaca	Santiago Huauclilla	Santiago Huauclilla	98.92	93.96	94.98
10-12	Oaxaca	San Andrés Sinaxtla	San Andrés Sinaxtla	39.01	11.43	29.30

continúa...

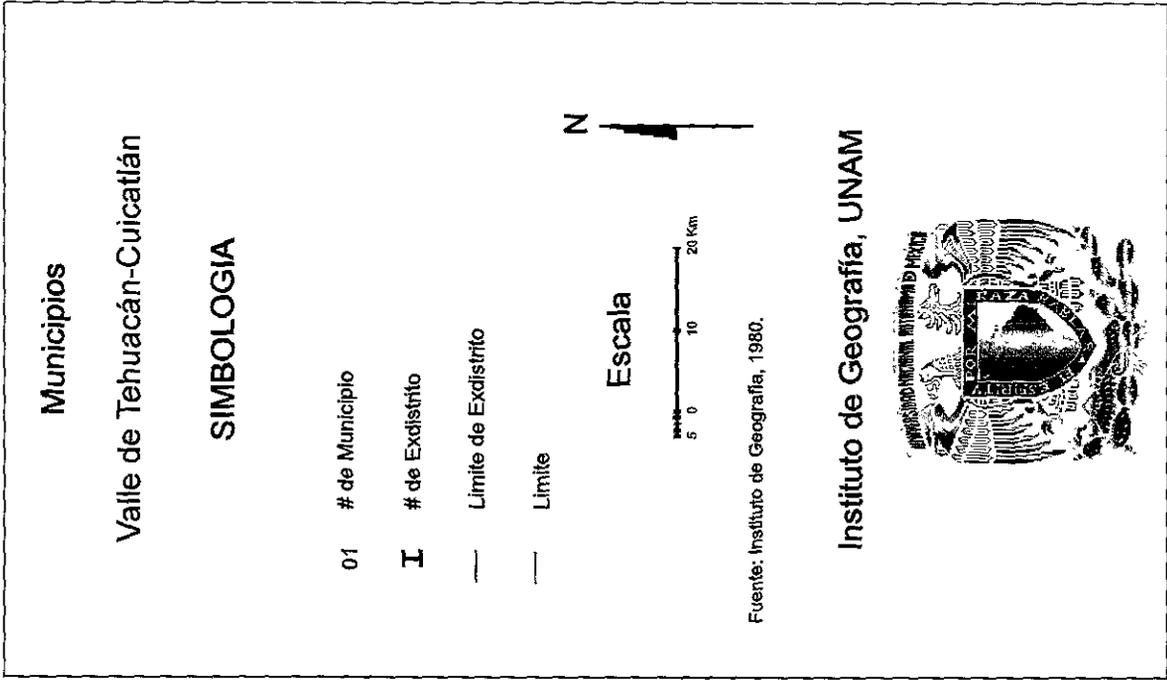
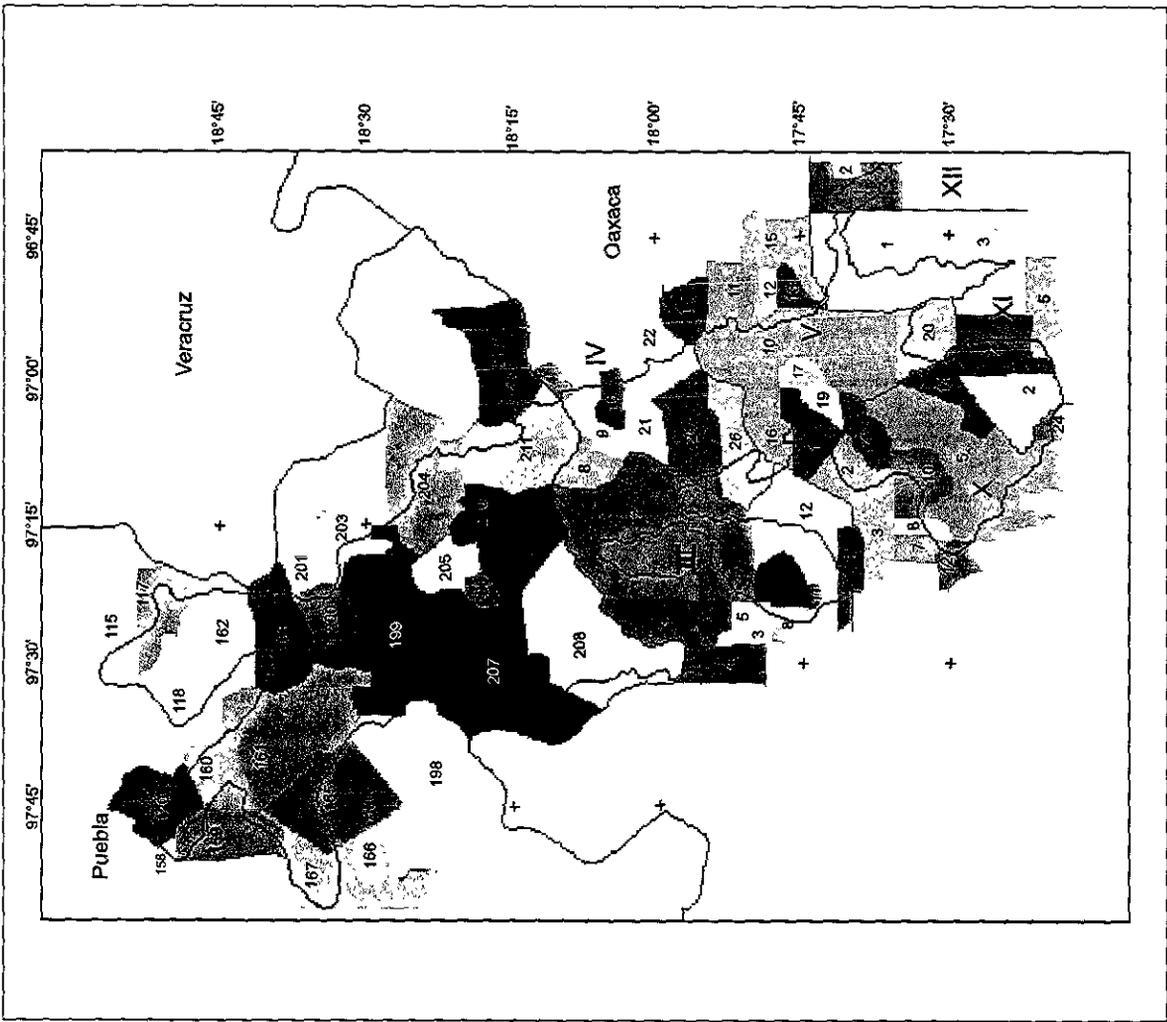


Fig.27 Municipios del Valle de Tehuacán-Cuicatlan.

77

...continuación

10-24	Oaxaca	Zaragoza	Zaragoza	81.32	18.18	22.35
11-1	Oaxaca	San Juan Bautista Atlatlahuaca	San Juan Bautista Atlatlahuaca	453.98	189.54	41.75
11-2	Oaxaca	San Jerónimo Sosola	San Jerónimo Sosola	320.60	158.76	49.52
11-3	Oaxaca	San Juan Bautista Jayacatlán	San Juan Bautista Jayacatlán	244.31	36.81	15.07
11-4	Oaxaca	Santiago Tenango	Santiago Tenango	176.88	100.26	56.68
11-5	Oaxaca	San Francisco Telixtlahuaca	San Francisco Telixtlahuaca	153.69	6.84	4.45
115	Puebla	Chalchicomula de Sesma	Ciudad Serdán	564.90	47.97	8.49
117	Puebla	Esperanza	Esperanza	142.54	65.07	45.65
118	Puebla	Palmar de Bravo	Palmar de Bravo	327.19	161.37	49.32
120	Puebla	Tecamachalco	Tecamachalco	172.21	81.45	47.30
158	Puebla	Tochtepec	Tochtepec	26.98	7.47	27.68
159	Puebla	Xochitlán Todos Santos	Xochitlán	177.70	58.68	33.02
160	Puebla	Yehualtepec	Yehualtepec	62.32	44.73	71.78
161	Puebla	Tlacotepec Benito Juárez	Tlacotepec Benito Juárez	296.12	231.21	78.08
162	Puebla	Morelos Cañada	Morelos Cañada	216.68	161.64	74.60
163	Puebla	Chapulco	Chapulco	212.44	159.57	75.11
164	Puebla	Tepanco de López	Tepanco de López	179.83	179.37	99.74
165	Puebla	Juan N. Méndez	Atenayuca	303.16	130.32	42.99
166	Puebla	Ixcaquixtla	San Juan Ixcaquixtla	108.12	0.81	0.75
167	Puebla	Tepexi de Rodríguez	Tepexi de Rodríguez	461.84	99.18	21.48
198	Puebla	Atexcal	San Martín Atexcal	475.63	10.26	2.16
199	Puebla	Tehuacán	Tehuacán	490.52	460.17	93.81
200	Puebla	Santiago Miahuatlán	Santiago Miahuatlán	95.87	80.64	84.12
201	Puebla	Nicolás Bravo	Nicolás Bravo	116.47	3.42	2.94
203	Puebla	San Antonio Cañada	San Antonio Cañada	111.81	25.47	22.78
204	Puebla	Ajalpan	Ajalpan	327.39	161.37	49.29
205	Puebla	Altepexi	San Francisco Altepexi	93.71	93.71	100.00
206	Puebla	San Gabriel Chilac	San Gabriel Chilac	33.97	33.97	100.00
207	Puebla	Zapotitlán	Zapotitlán Salinas	548.67	415.8	75.78
208	Puebla	Caltepec	Caltepec	472.47	418.05	88.48
209	Puebla	San José Miahuatlán	San José Miahuatlán	201.21	201.21	100.00
210	Puebla	Zinacatepec	San Sebastián Zinacatepec	99.94	99.94	100.00
211	Puebla	Coxcatlán	Coxcatlán	285.33	223.47	78.32
213	Puebla	Coyomeapan	Santa María Coyomeapan	262.16	2.97	1.13

Fig. 28 Tabla de los municipios y cabeceras, localizados dentro del Valle de Tehuacán-Cuicatlán.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Num. Mun.	Nombre Municipios	Estado politico	Area Km <sup>2</sup> municipalo	% SBC 1985	SBC 1985	SBC 1992	% SBC 1992	SBC perturbada 1985	SBC perturbada 1992	Agricultura 1992	Pastizal 1992	error tipo B
3-1	Concepción Buenavista	Oaxaca	178.67	19.60	35	32.9	93.83	2.34	1.53	0	0.45	10.2
3-2	Tepelmeme V. del M.	Oaxaca	776.51	40.15	312	198	63.54	14.85	121.05	0	0.45	22.3
3-12	S. J. B. coixtlahuaca	Oaxaca	306.93	0.09	0.27	0	0	0	0.27	0	0	0
4-4	Stgo. Texcalcingo	Oaxaca	28.45	0.00	0	0	0	0.27	0	0	0	0.27
4-8	Sn. Anton. Nanahua.	Oaxaca	69.75	46.32	32.3	14.2	44.01	16.47	29.7	0.99	0	7.83
4-9	Teotitán del Camino	Oaxaca	96.87	13.94	13.5	0.9	6.66	42.21	51.28	2.16	0.27	1.26
4-16	S. Martín Toxpalan	Oaxaca	49.43	19.12	9.45	0	0	23.31	32.04	0.36	0.09	0.36
4-21	S. J. de los Cues	Oaxaca	94.12	54.70	51.5	8.64	16.78	13.32	49.32	0.27	0	8.1
4-22	Mazatlán de Flores	Oaxaca	216.42	23.04	49.9	0	0	0	48.87	0.18	0	0.36
4-24	S. Ma. Tecomavaca	Oaxaca	193.06	78.04	151	88.6	58.78	6.48	66.33	0.09	0	2.34
4-25	S. Ma. Ixcatlán	Oaxaca	167.54	53.34	89.4	36.2	40.48	0	52.2	0.09	0	2.7
5-1	Cuayamecalco V. de Z.	Oaxaca	80.91	2.22	1.8	0	0	0	1.8	0	0	0
5-10	S. J. B. Cuicatlán	Oaxaca	508.01	69.87	355	104	29.29	16.56	256	5.13	0.27	13.1
5-11	Concepción Pápalo	Oaxaca	129.85	0.07	0.09	0	0	0	0	0	0	0.09
5-13	S. Ma. Pápalo	Oaxaca	45.30	0.99	0.45	0.09	20	0	0.27	0	0	0.09
5-15	S. J. Tepouxila	Oaxaca	144.83	0.12	0.18	0	0	0	0.18	0	0	0
5-16	S. P. Jocotipac	Oaxaca	64.92	39.79	25.8	5.94	22.99	0	19.8	0	0	0
5-17	Valerio Trujano	Oaxaca	40.92	35.41	14.5	0	0	20.07	34.56	0	0	0
5-18	S. Ma. Texcatitlán	Oaxaca	45.43	51.91	23.6	0	0	1.53	24.66	0.45	0	0
5-19	S. P. Jaltepeton.	Oaxaca	43.04	76.54	32.9	0	0	0.98	33.48	0	0.45	0
5-20	Stgo. Nacaltepec	Oaxaca	140.96	21.96	31	26.2	84.59	0.09	4.05	0	0.18	0.72
10-4	Sta. Ma. Apasco	Oaxaca	81.88	0.88	0.72	0	0	0	0.09	0	0.27	0.36
10-5	Asunción Nochixtlán	Oaxaca	737.11	4.14	30.5	10.6	34.81	0	17.19	0.45	0.27	9.72
10-11	Stgo. Huauclilla	Oaxaca	98.92	33.57	33.2	27.1	81.57	3.87	5.22	0.09	0	8.19

continúa ...

....continuación

11-1	S.J.B. Atlatlahuca	Oaxaca	453.98	34.18	155	144	92.52	0.81	5.58	4.05	0	17.7
11-2	S. Jerónimo Sosola	Oaxaca	320.60	8.25	26.5	24.4	92.18	0	0	0.9	0	13
11-3	S.J.B. Jayacatlán	Oaxaca	244.31	4.46	10.9	5.49	50.41	8.46	8.91	0.81	0	5.04
11-4	Stgo. Tenango	Oaxaca	176.88	4.53	8.01	1.71	21.35	0	0	0	0	8.37
12-1	S.J. Quiotepec	Oaxaca	292.68	3.63	10.6	7.29	68.64	3.24	0	0	0	14
167	Tepexi de Rdgez.	Puebla	461.84	0.00	0	0	0	28.35	11.79	1.98	0.18	16.7
199	Tehuacán	Puebla	490.52	5.47	26.8	22.8	84.89	1.71	3.15	0.09	0.54	6.93
203	S. Antonio Cañada	Puebla	111.81	5.07	5.67	5.04	88.89	2.7	2.43	0	0.81	1.26
204	Ajalpan	Puebla	327.39	10.97	35.9	28.4	78.95	54.13	38.52	1.35	0	38.5
206	Sn. Gabriel Chilac	Puebla	33.97	10.07	3.42	0	0	2.79	6.12	0	0.09	0
207	Zapotitlán	Puebla	548.67	0.07	0.36	0	0	2.25	2.25	0	0	0.36
208	Caltepec	Puebla	472.47	36.10	171	89.5	52.45	3.87	78.12	0.36	2.34	9.72
209	S.J. Miahuatlán	Puebla	201.21	3.71	7.47	0.09	1.20	10.44	15.48	0	0.09	4.14
210	Zinacatepec	Puebla	99.94	0.00	0	0	0	0.9	0.72	0.09	0	3.69
211	Coxcatlán	Puebla	285.33	8.23	23.5	13.1	5.55	61.47	55.71	4.23	0.45	2.3
213	Coyomeapan	Puebla	262.16	0.00	0	0	0	0.54	0.54	0	0	0

Error tipo B= En la carta de 1992 área considerada en otro tipo de vegetación.

Fig.29 Tabla de los municipios dentro del Valle, para la SBC en 1985 y 1992.

Los municipios políticos que tenían más del 50% de su superficie con SBC en 1985, del Estado de Oaxaca son: Santa María Tecomavaca 78.04%, San Pedro Jaltepetongo 76.54%, San Juan Bautista Cuicatlán 69.87%, San Juan de los Cues 54.70%, Santa María Ixcatlán 53.34%, Santa María Texcatitlán 51.91%, y del Estado de Puebla sólo Caltepec reportaba 36.10%. Se observó “pérdida” total de la SBC en el mapa “actual”, para 1992 en los municipios de Santa María Texcatitlán y San Pedro Jaltepetongo, y con una pérdida mayor al 50%, en San Juan de los Cues 83.22%, San Pedro Jocotipac 77.0%, San Juan Bautista Cuicatlán 70.7% y Santa María Ixcatlán 59.52%, y el municipio que perdió menos del 50% de SBC es Santa María Tecomavaca, conservando el 58.78%. El municipio Caltepec del estado de Puebla conserva el 52.45%.

Los municipios cuyo porcentaje de área cubierta por SBC era bajo, y que tuvieron pérdida total de este tipo de vegetación (1992) son del Estado de Oaxaca: San Juan Bautista Coixtlahuaca, San Martín Toxpalán, Mazatlán de Flores, Cuayamecalco Villa de Zaragoza, Concepción Pápalo, San Juan Tepeuxila, Santa María Apasco y Valerio Trujano. Del Estado de Puebla: San Gabriel Chilac y Zapotitlán.

Un análisis de las posibles causas que han llevado a la pérdida de la SBC en cada municipio, es tema de otro trabajo de investigación.

## **Análisis de las condiciones pluviométricas**

La subdivisión que se hizo de las épocas secas y húmedas, se basó en las características climatológicas del Valle y con la finalidad de observar a través de la respuesta de la vegetación las diversas condiciones meteorológicas que caracterizaron al año de 1996 y la mitad de 1997. La secuencia de los periodos utilizados se inició en enero de 1996, fecha a partir de la cual se contó con imágenes (la estación terrena Terascan comenzó a funcionar en dicha fecha).

Como se indicó en la metodología, se utilizaron las precipitaciones medias mensuales del periodo 1921-1995 para trazar los mapas, pues sólo se pudieron obtener los datos de 1996 para 11 estaciones y de 1997 para una estación.

La distribución de las estaciones utilizadas, se muestra en la fig. 30.

De los mapas de precipitación para las 4 épocas consideradas (Fig. 31, 32, 33 y 34) se observa, en general que el área con menor precipitación, se localiza en el centro del valle.

Los mapas correspondientes a los periodos húmedos mayo-octubre (Fig. 31) y mayo -julio (Fig. 32) presentan valores mayores a 300 mm. En el primero se reciben más de 500 mm, en el suroeste, sobre las laderas de las sierras Mazateca e Ixtlán respectivamente, así como al norte de la ciudad de Tehuacán donde forma una franja que atraviesa el Valle.

Esta banda separa en dos, al área que recibe de 300 a 400 mm, la cual se localiza a lo largo y al centro del Valle. El resto de la zona recibe entre 400 y 500 mm de lluvia durante esta época.

Respecto al segundo periodo, mayo-julio el mapa de distribución horizontal de la lluvia, como era de esperarse, muestra valores más bajos respecto al primero, pues este lapso de tiempo es más corto, además de no incluir al segundo máximo de lluvia para esta zona, el cual se presenta en septiembre. Las isoyetas en general presentan una distribución espacial similar a la anterior, pues en la parte central se localizan los valores más bajos, menores de 200 mm, donde forman dos zonas, una en el centro y otra, de menor tamaño en el noreste. Sólo se presenta una pequeña área con más de 300 mm en el sureste, en la cuenca del río de Las Vueltas. En el resto del Valle se observan valores entre 200 y 300 mm.

Por lo que se refiere a la época seca, se tiene que el periodo completo (noviembre-abril) (Fig.33), la distribución espacial de la lluvia sigue el mismo patrón que en los dos mapas anteriores, es decir los valores de la precipitación son más bajos en la zona central y norte, aumentan hacia el sur y poniente del Valle. En esta temporada las cifras de lluvia más altas que se reciben, son de tan sólo mayor a 60mm, principalmente en el noroeste y noreste, sobre las laderas de las sierras de Zapotitlán y Zongólica, respectivamente, así como sobre la sierra de Tamazulapan. La zona con menor lluvia, inferior a 30mm, se sitúa en el límite sur del estado de Puebla en el centro del Valle. Los valores fluctúan entre 30 y 60mm en el resto del Valle.

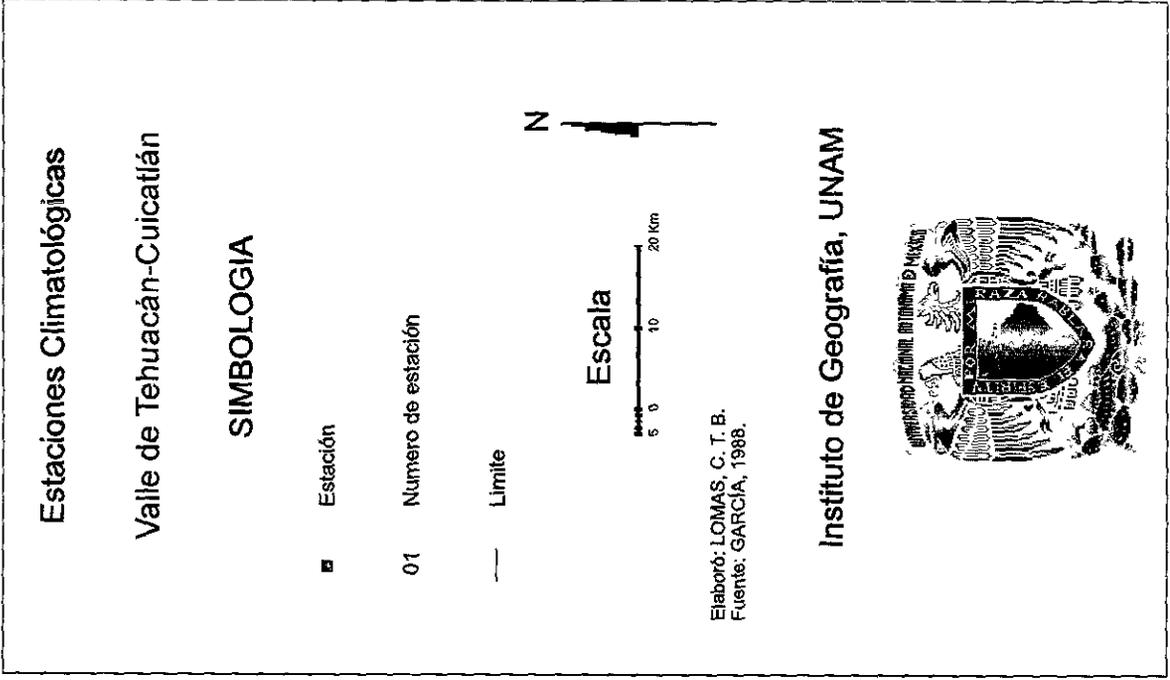
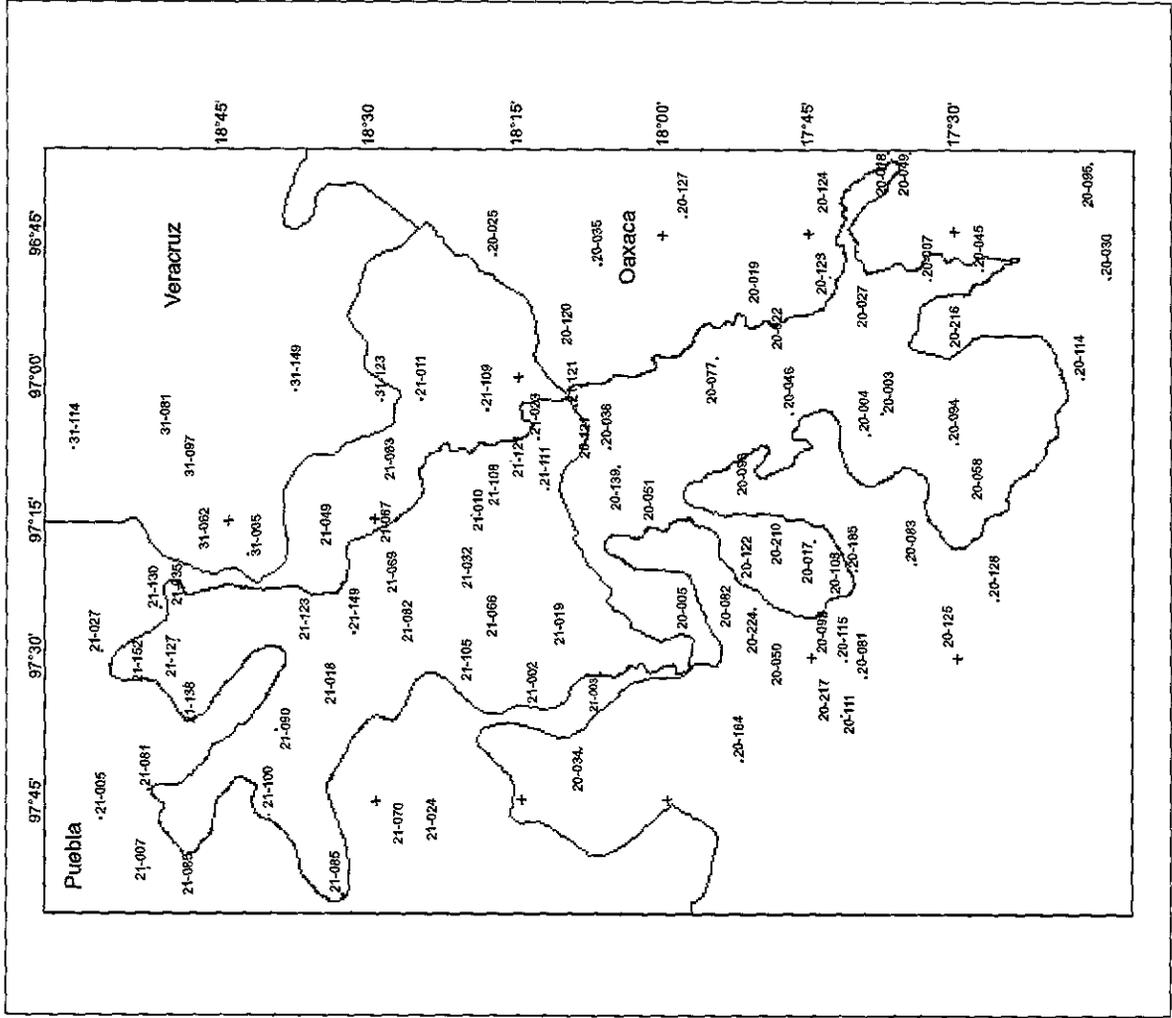


Fig.30 Estaciones climatológicas.

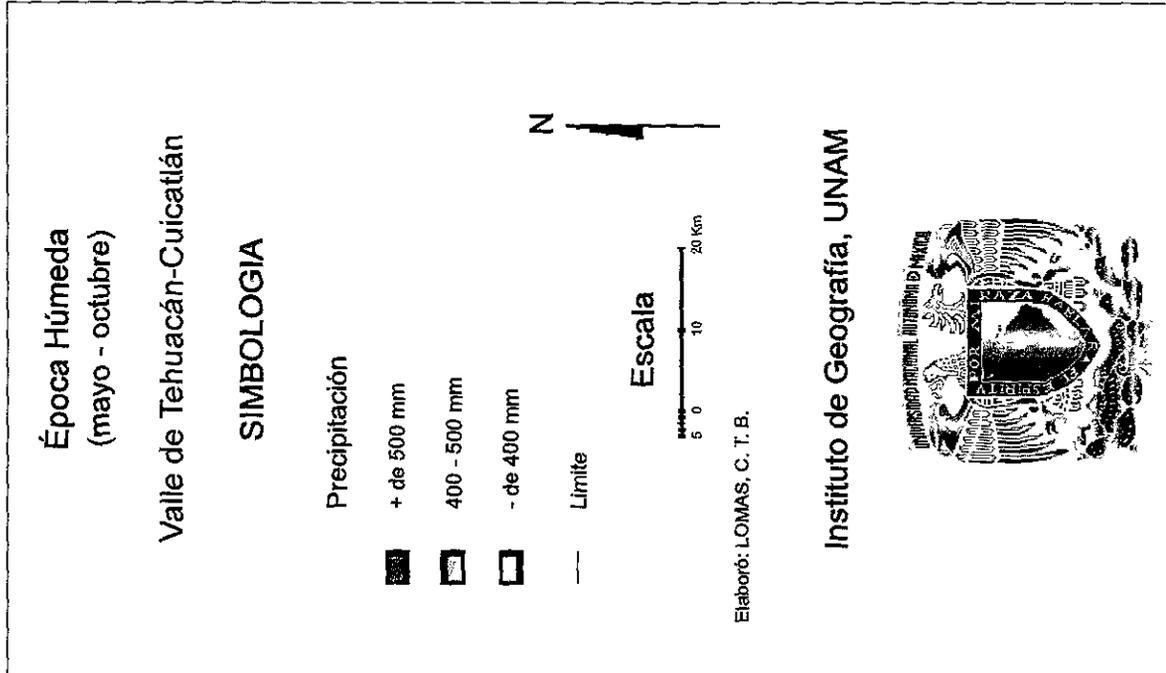
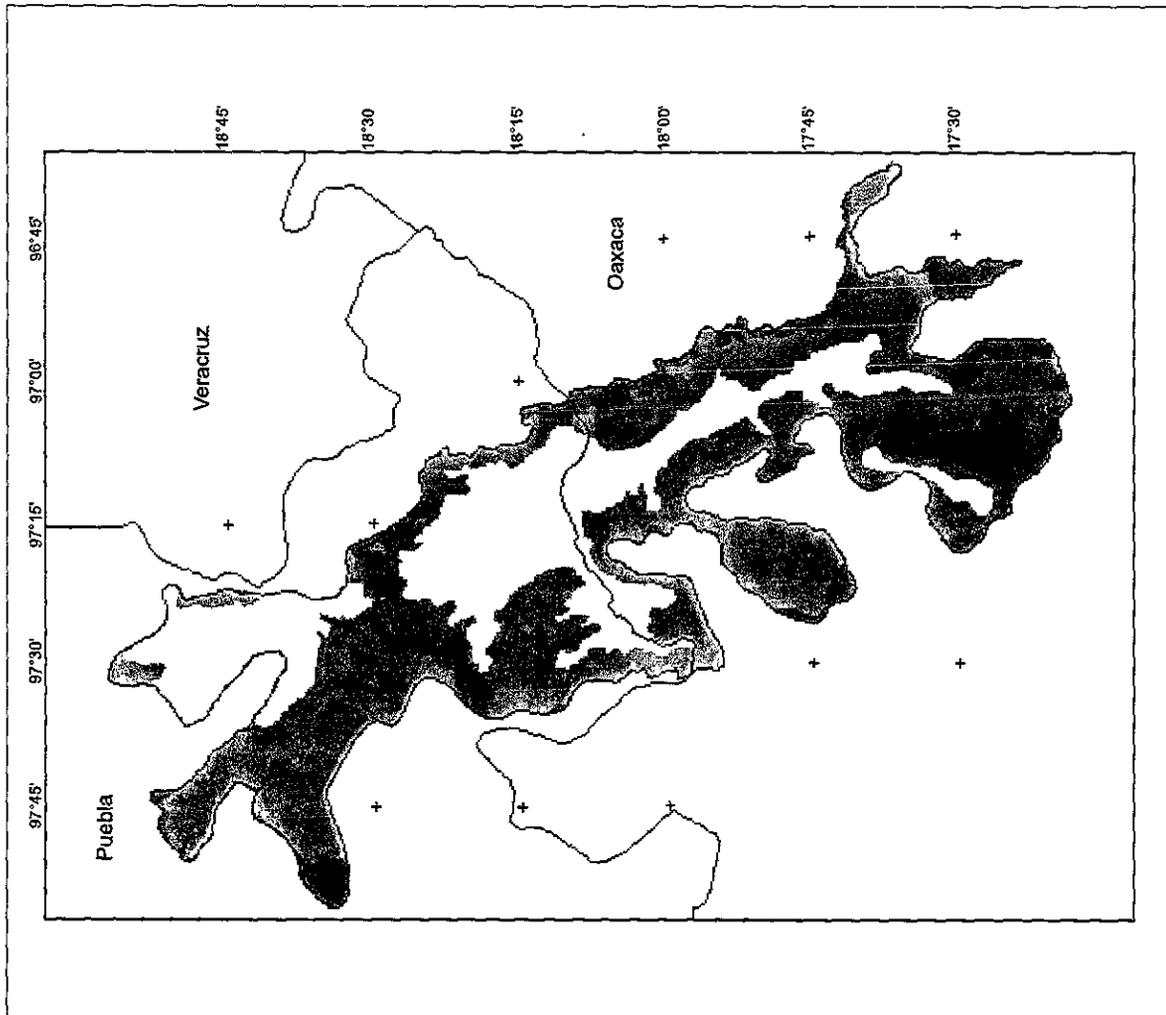


Fig.31 Mapa de isoyetas de la época húmeda, (mayo a octubre).

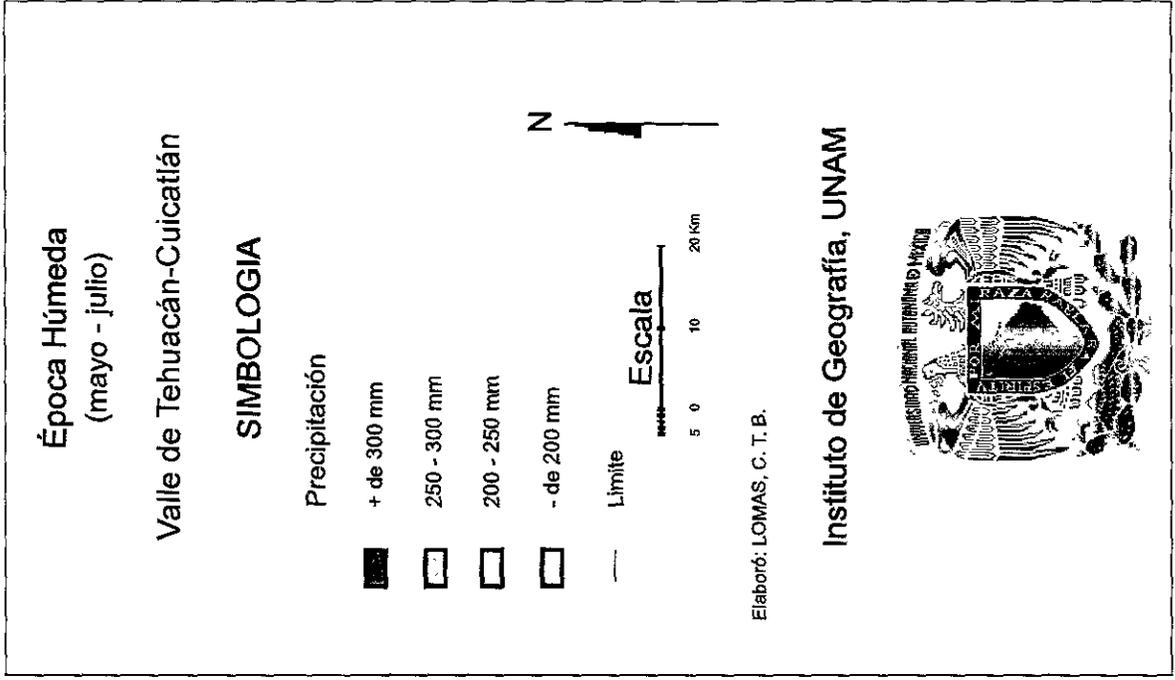
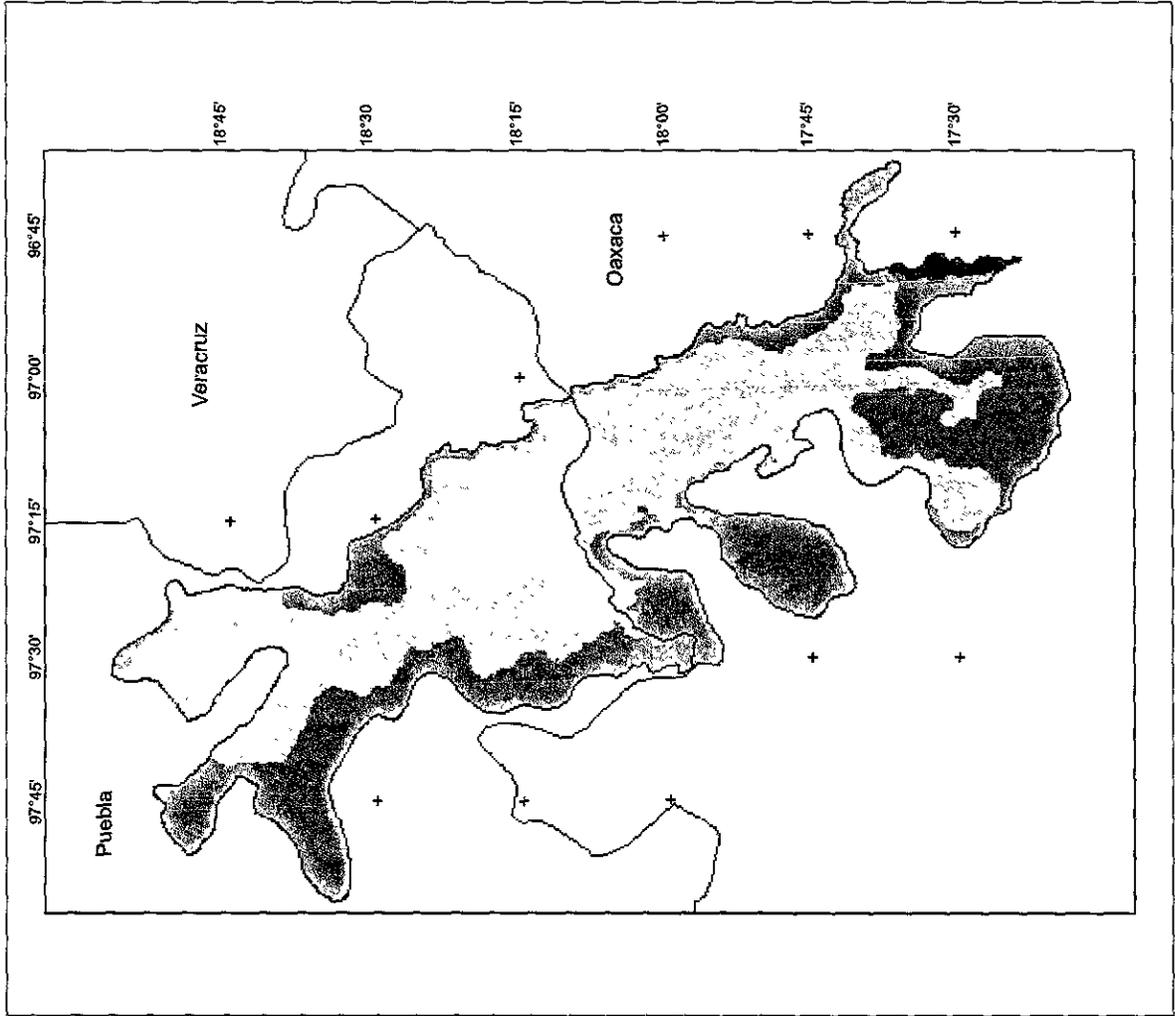
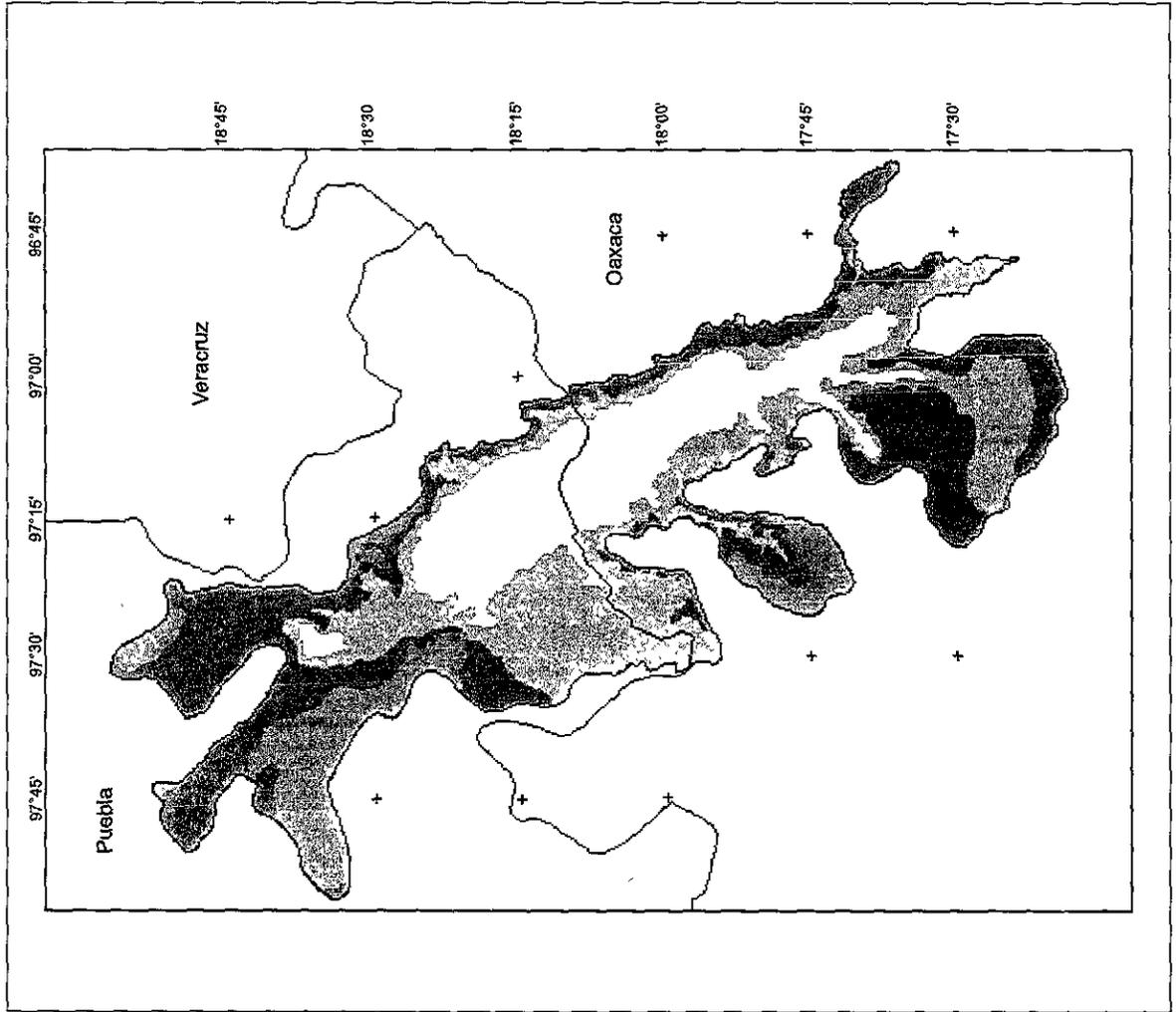


Fig.32 Mapa de isoyetas de la época húmeda, (mayo a julio).



**Época Seca**  
(nov.-dic. y ene.-abr.)

**Valle de Tehuacán-Cuicatlán**

**SIMBOLOGIA**

**Precipitación**

	+ de 60 mm
	50 - 60 mm
	40 - 50 mm
	30 - 40 mm
	- de 20 mm
	Limite

**Escala**

0 10 20 Km

N

**Instituto de Geografía, UNAM**

Elaboró: LOMAS, C. T. B.

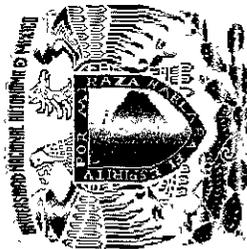
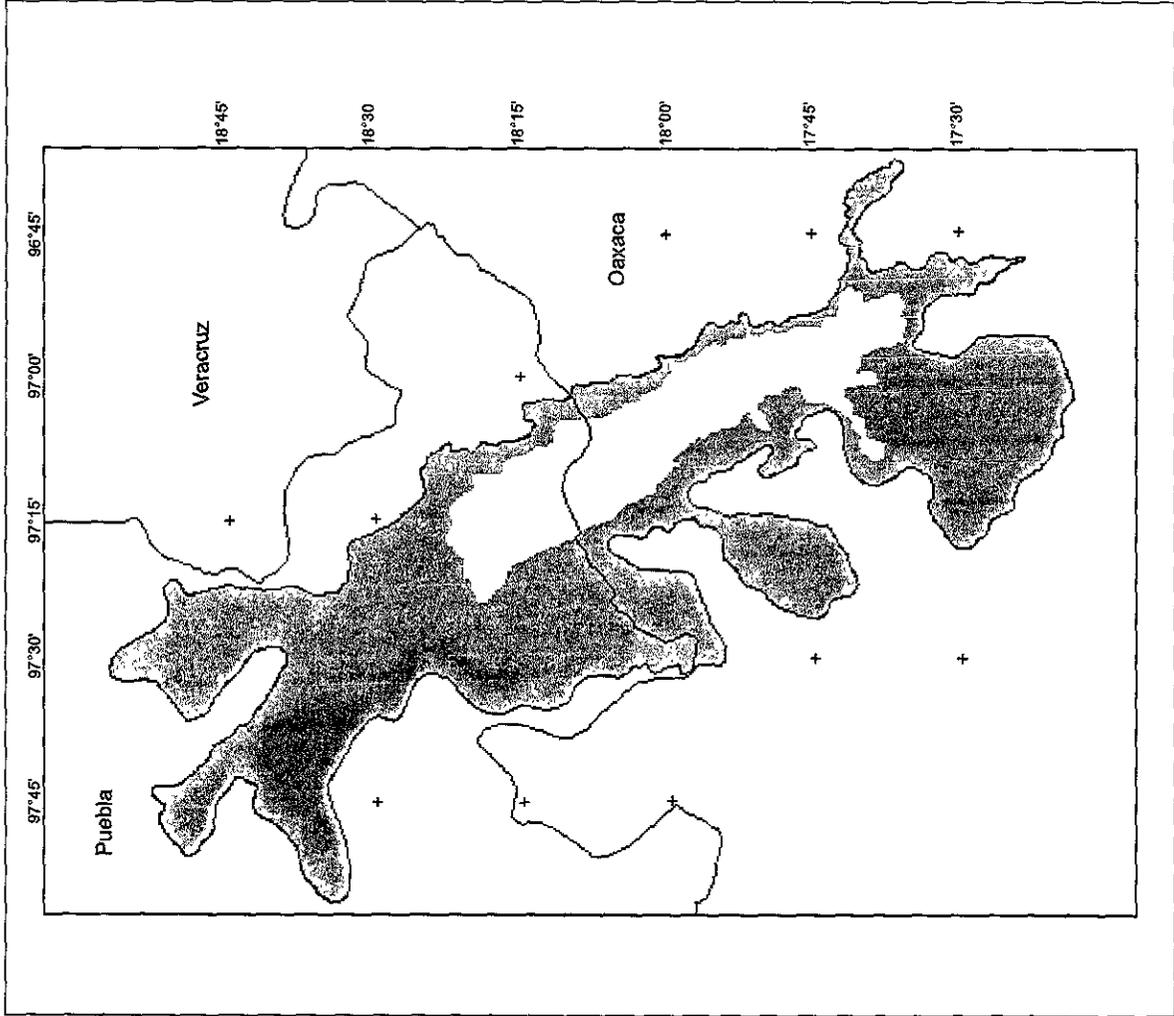


Fig.33 Mapa de isoyetas de la época seca, (noviembre a abril).



**Época Seca**  
(enero - abril)

**Valle de Tehuacán-Cuicatlán**

**SIMBOLOGIA**

Precipitación

-  + de 50 mm
-  25 - 50 mm
-  20 - 25 mm
-  - de 20 mm
-  Limite

**Escala**

5 0 10 20 Km

N 

Elaboró: LOMAS, C. T. B.

**Instituto de Geografía, UNAM**

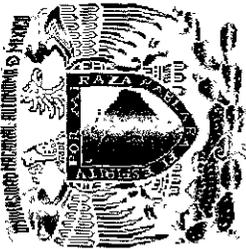


Fig.34 Mapa de isoyetas de la época seca, (enero a abril).

En el periodo incompleto (enero-abril) (Fig.34), los valores mayores de la lluvia son del orden de más de 50mm. El contraste con la otra época seca, es más evidente en los valores inferiores, pues se llegan a tener tres pequeñas áreas con menos de 20mm, en el centro del Valle.

### **Análisis de las imágenes AVHRR.**

En esta última parte del análisis de resultados, se hace en primer lugar una revisión de las imágenes obtenidas y posteriormente se plantean las correlaciones con la precipitación pluviométrica.

Los compuestos máximos de imágenes, se elaboraron con la finalidad de evitar errores en la estimación de la reflectancia de la cubierta terrestre (vegetación, suelo, etc.) , por la presencia de nubes en las mismas, como ya se indicó en la metodología. En la fig. 11 se muestra además cómo se ubicaron las épocas secas y húmedas a través del periodo de imágenes empleadas (enero 1996- junio 1997).

En las figuras 35, 36, 37 y 38, se muestran las imágenes mensuales de máximo ND (nivel digital), distribuidas en sentido a las manecillas del reloj, alrededor de la imagen del periodo utilizado. En la simbología de cada figura, se presentan para cada color, el intervalo de clase del ND, que se obtuvo de la SBC. Los valores altos (202-206), están representados por los tonos de azul, le siguen las gamas de verdes, amarillos, rosas, los colores naranja, rojo, morado, lila y termina con el sepia (127-131).

De las gráficas obtenidas de las imágenes (fig. 39, 40, 41 y 42), donde se muestra en el eje de las ordenadas los ND del NDVI y en las abscisas las frecuencias ( $F_i$ ) de los mismos, en la correspondiente a la época seca 1996 (fig.39), enero a abril se observa una tendencia al aumento en la frecuencia de los valores más bajos, es decir hay un *corrimiento de la curva de distribución de los ND hacia la izquierda a medida que se establece la época seca*. Esta fluctuación se observa más claramente en la tabla de distribución de los ND a través de todo el periodo trabajado (Fig. 43). De lo que se puede inferir que la vegetación pierde su verdor por la poca o nula lluvia que caracteriza esta época. La gráfica que muestra los valores de la imagen compuesta para este periodo (Fig. 35) en general no resume la observación anterior. Esto se debe a que para obtener este compuesto se toman los valores máximos, los cuales recaen principalmente en la imagen de enero, que de acuerdo con Carrasco (1996), se da en el Valle una producción ligera de lluvia, asociada a las masas de aire frío (nortes) en el Golfo de México, que si son intensas y profundas logran pasar la sierra Madre Oriental. Por esta razón las gráficas correspondientes a enero y al compuesto de la época seca son muy similares.

De las imágenes de las épocas secas tanto 1996 (Fig. 35) como 1996-1997 (Fig. 37), resalta de inmediato las áreas de agricultura de riego por los valores altos (tonos azules) de ND y su continuidad a través del tiempo, situadas en la parte norte y central del Valle.

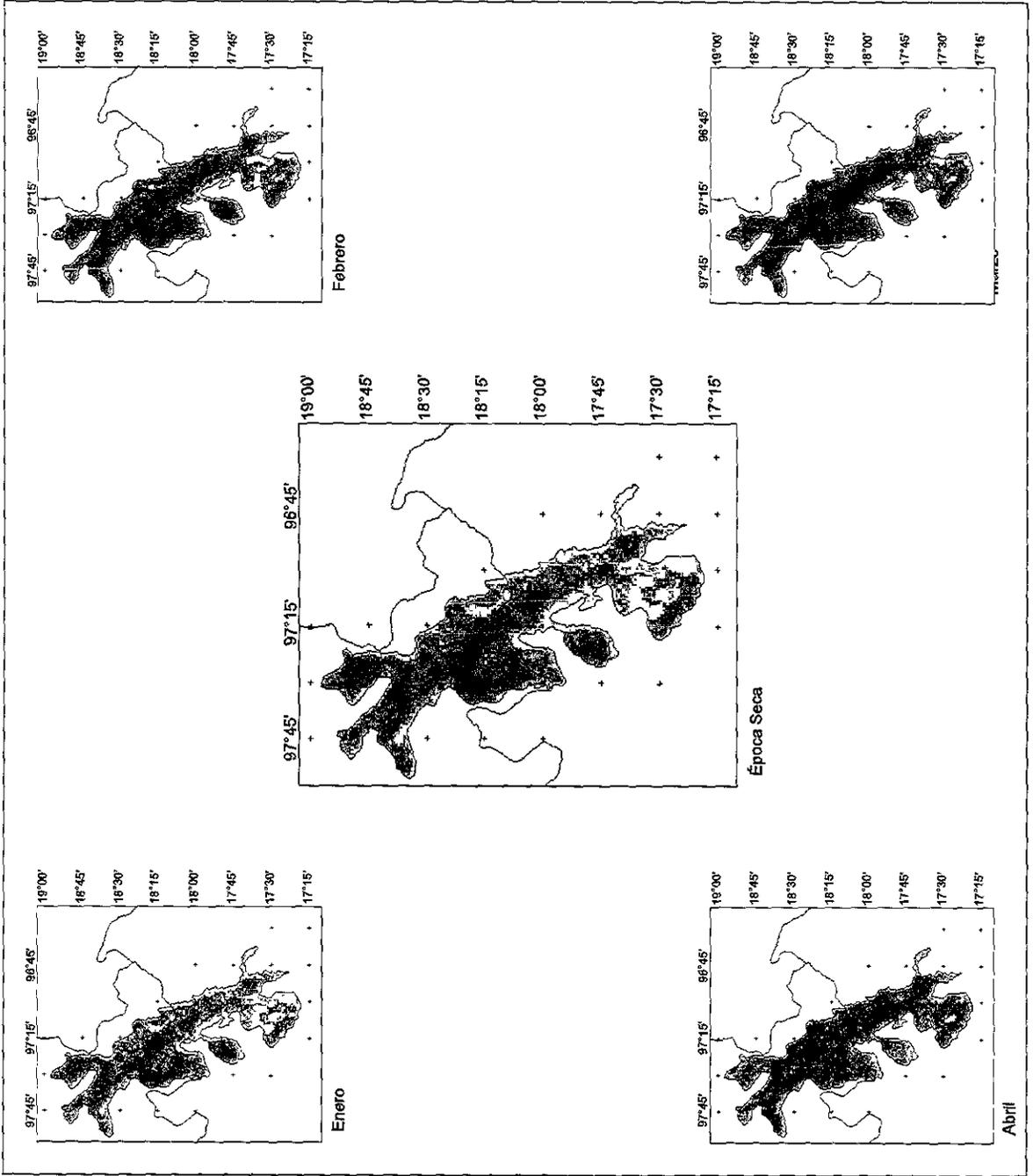
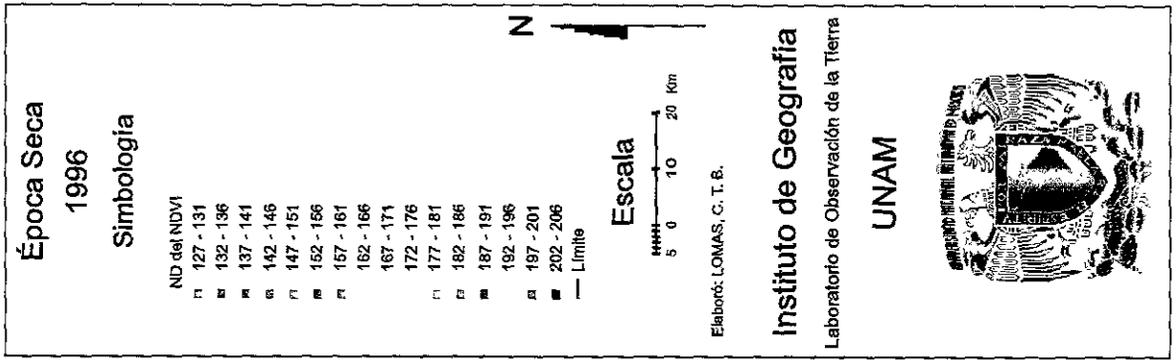


Fig.35 Imágenes AVHRR del NOAA-14, compuestos máximos del NDVI

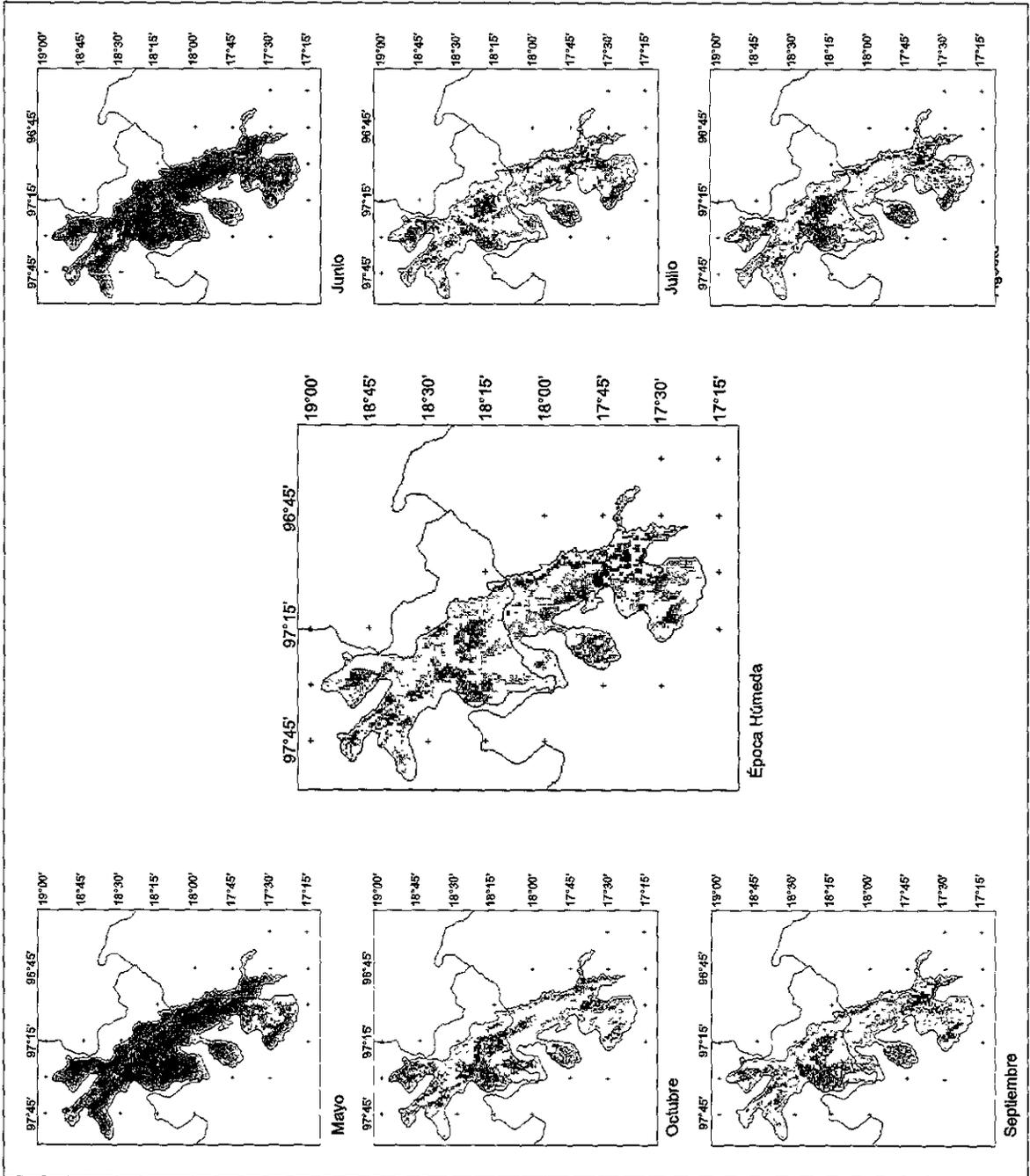
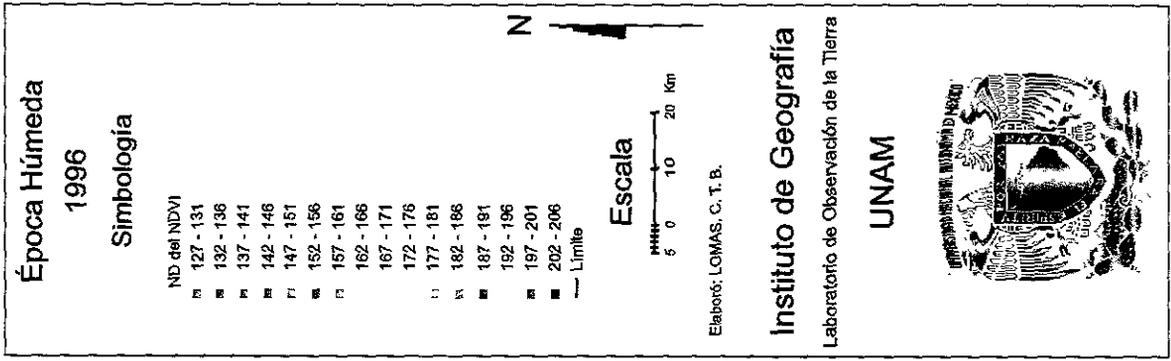


Fig. 36 Imágenes AVHRR del NOAA-14, compuestos máximos del NDVI.



**Época Húmeda  
1997**

**Simbología**

ND del NDVI
127 - 131
132 - 136
137 - 141
142 - 146
147 - 151
152 - 156
157 - 161
162 - 166
167 - 171
172 - 176
177 - 181
182 - 186
187 - 191
192 - 196
197 - 201
202 - 206
— Límite

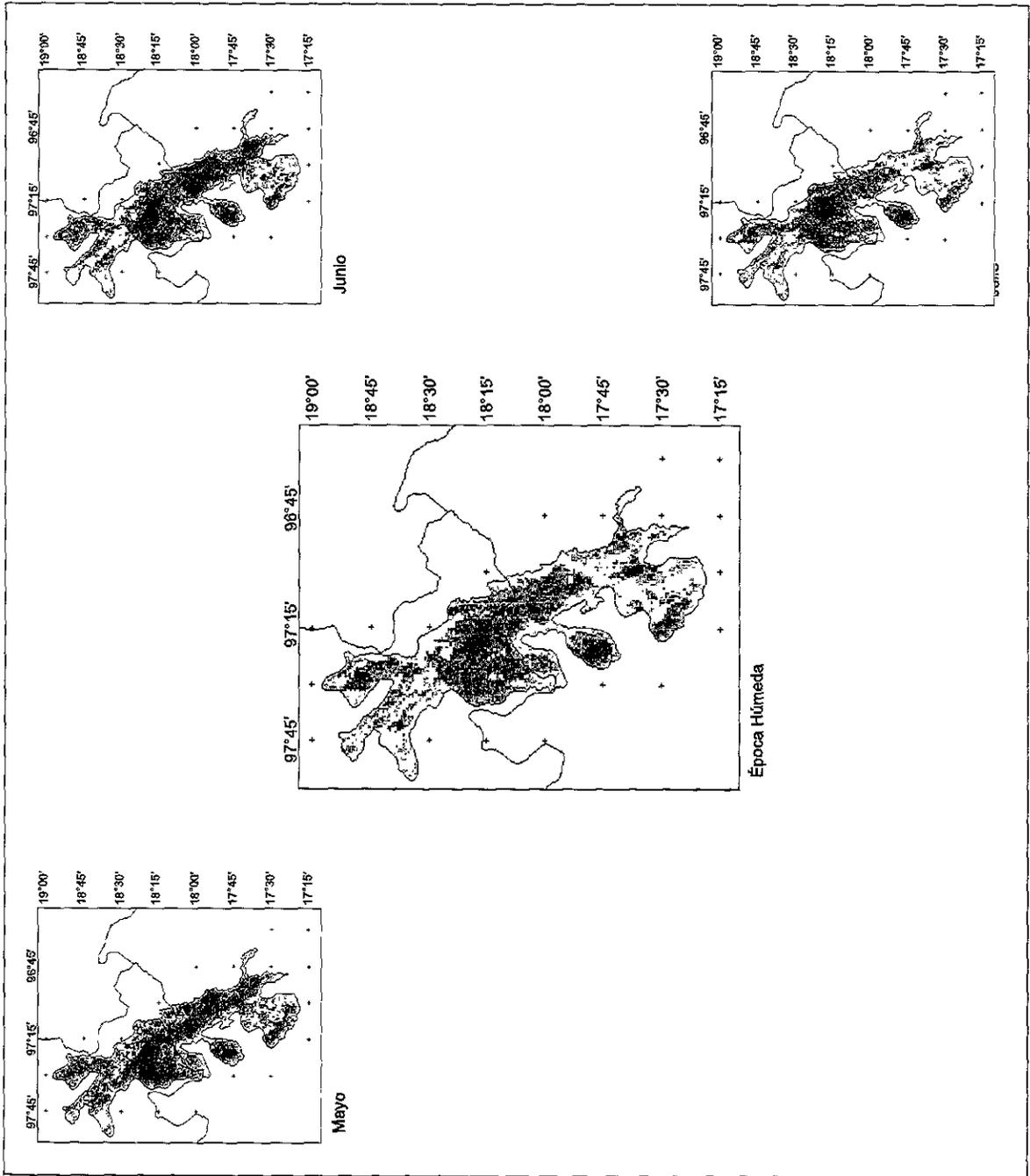
**Escala**  
0 10 20 Km

Elaboró: LOMAS, C. I. B.

**Instituto de Geografía**  
Laboratorio de Observación de la Tierra

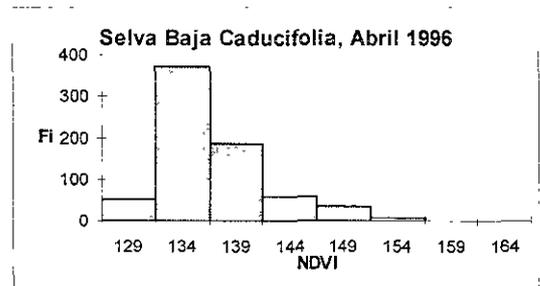
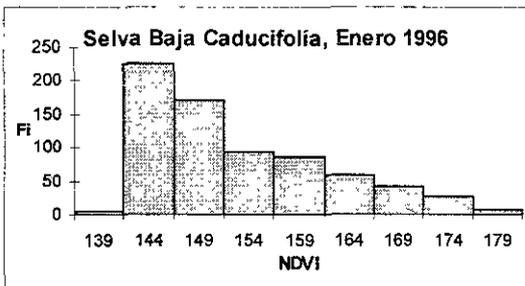
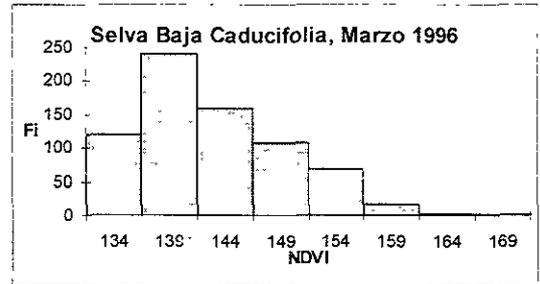
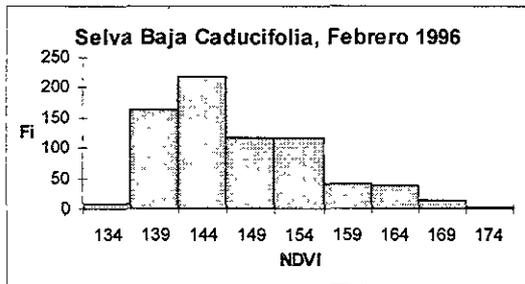
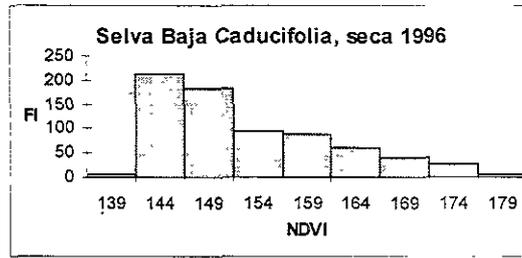
**UNAM**





103

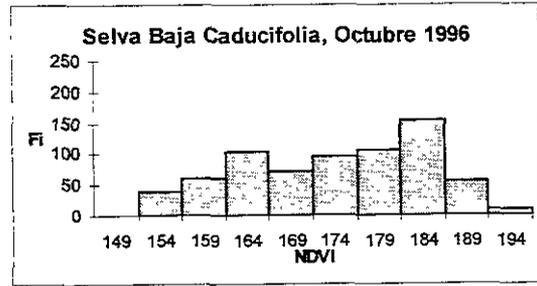
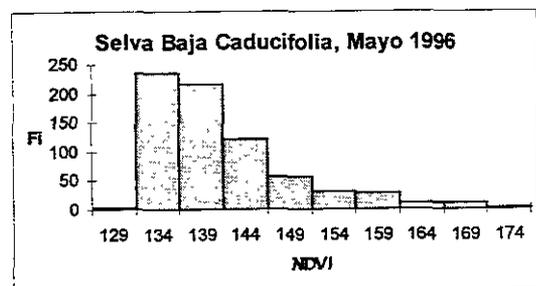
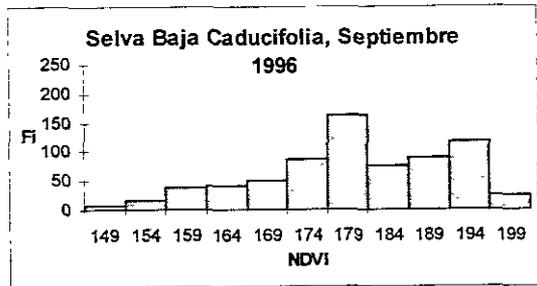
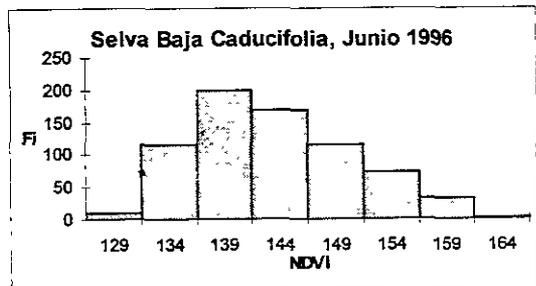
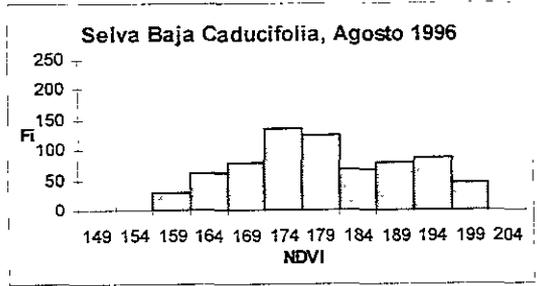
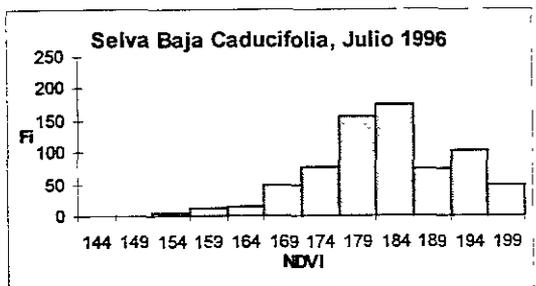
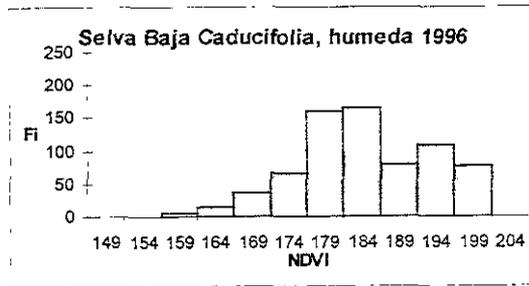
Fig.38 Imágenes AVHRR del NOAA-14, compuestos máximos del NDVI



Fi = Frecuencia

NDVI = Marca de clase del ND del NDVI

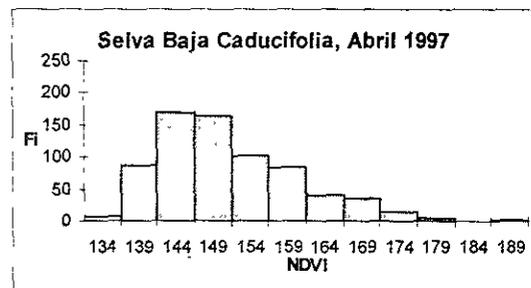
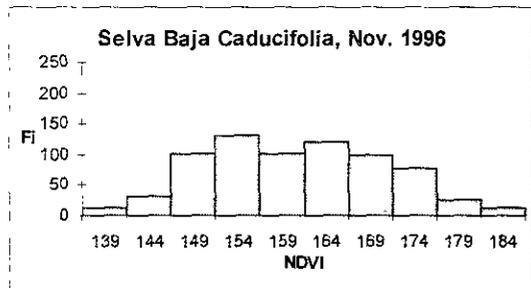
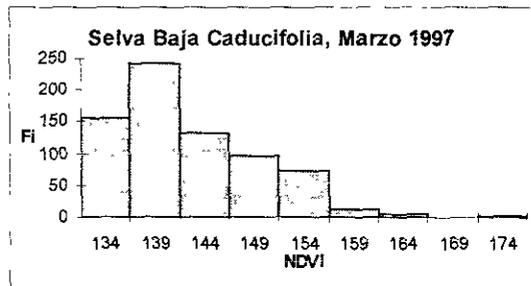
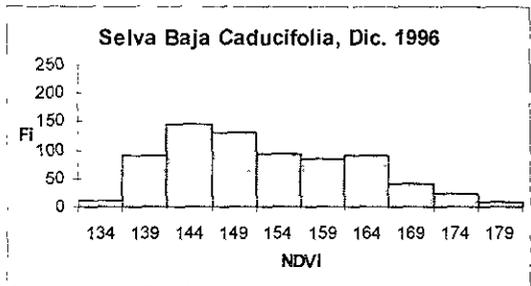
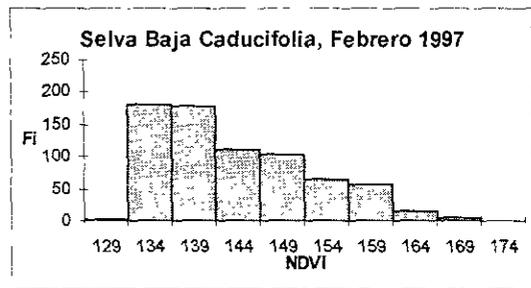
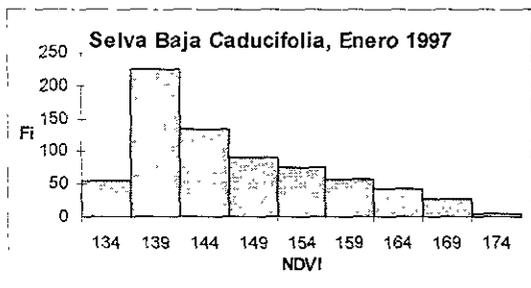
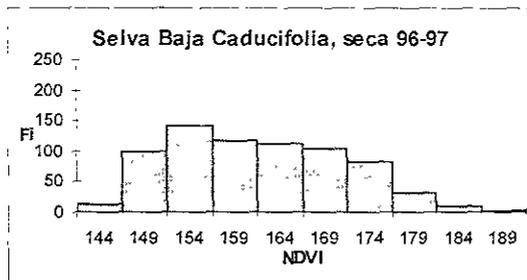
Fig. 39 Gráficas producto de las imágenes, época seca 1996



Fi = Frecuencia

NDVI = Marca de clase del ND del NDVI

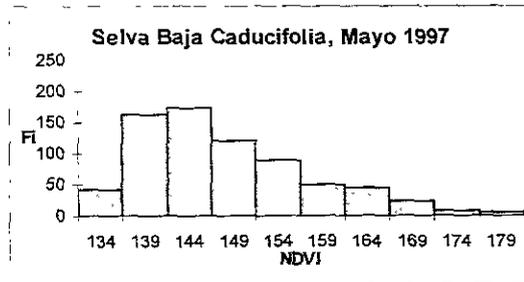
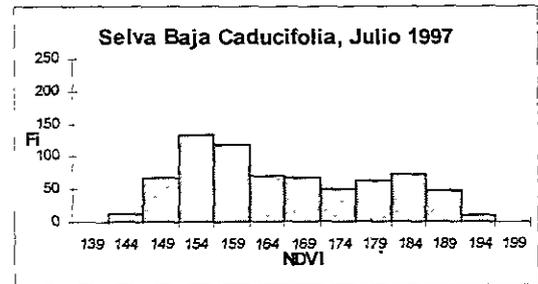
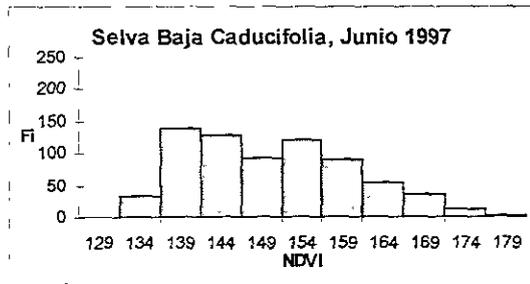
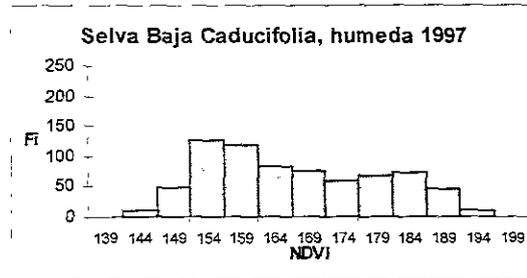
Fig. 40 Gráficas producto de las imágenes época húmeda 1996



Fi = Frecuencia

NDVI = Marca de clase del ND del NDVI

Fig. 41 Gráficas producto de las imágenes, época seca 1996 - 1997



Fi = Frecuencia

NDVI = Marca de clase del ND del NDVI

Fig. 42 Gráficas producto de las imágenes época húmeda 1997

Intervalo de clase	M.C		Fi																								
	Mi	Fi	E	F	M	A	M	A	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	seco 96	seco 96-97	hum. 96	hum. 97	
127	131	129				51	4	11									3				1						
132	136	134		8	120	374	237	115							13	56	181	156	7	41	34						
137	141	139	6	164	240	187	217	199						13	90	224	177	243	88	162	140	1					1
142	146	144	226	218	159	61	121	168	1					31	144	134	111	132	169	173	130	12	6	13			10
147	151	149	171	117	108	35	58	117	0	1	8			101	130	92	104	96	166	121	94	68	212	99	1		49
152	156	154	94	116	68	8	31	72	5	1	18	39	132	93	75	64	72	103	89	122	135	142	181	142	0	126	
157	161	159	86	42	18	1	27	34	12	31	40	60	102	83	59	57	12	84	51	91	119	93	118	118	5	118	
162	166	164	59	37	3	1	10	2	16	63	43	105	121	90	44	16	5	41	44	53	71	88	112	112	15	83	
167	171	169	42	13	2		11		48	80	50	72	99	42	29	4	0	35	23	37	67	62	106	106	37	74	
172	176	174	26	3			2		77	137	87	96	77	24	5	1	2	15	9	14	51	42	82	82	67	59	
177	181	179	8						156	124	164	106	28	9				6	5	2	64	26	31	31	161	68	
182	186	184							176	69	76	153	14					1			72	8	12	12	166	72	
187	191	189							75	78	90	55						3			47		3	3	78	47	
192	196	194							104	86	117	11									10				110	10	
197	201	199							48	47	25										1				77	1	
202	206	204																									
<b>media</b>			153	148	143	137	141	143	183	179	180	174	161	153	147	144	142	151	148	150	166	161.74	158.02	161.74	184.24	166.95	
<b>moda</b>			144	144	139	134	134	139	184	174	179	184	154	144	139	134	139	144	144	144	139	154	154	149	184	154	

Mi = Marca de clase

Fi = Frecuencia

Fig. 43 Tabla de distribución de los ND del NDVI del periodo trabajado, para la selva baja caducifolia.

En las imágenes compuesto del valor máximo de cada uno de los periodos establecidos (Fig. 35, 36, 37 y 38) los valores más altos se localizan en las partes más altas del Valle, tanto en las laderas de la sierra Madre Oriental como en las de la sierra de Nochixtlán. Esta distribución es muy similar a la de las isoyetas medias anuales del Valle (Carrasco, 1996), y las de cada una de las épocas analizadas (Fig. 31, 32, 33 y 34).

La imagen de abril presenta los valores de ND más bajos, tonos sepia, lila y morado (129-141), es decir la vegetación todavía no inicia su actividad fotosintética a pesar de que Carrasco (1996) menciona que durante este mes ya se tienen las primeras precipitaciones, aunque no es el inicio propiamente de la época húmeda. Marzo es el mes con menor precipitación de acuerdo a este mismo autor. A partir de esta imagen se puede hablar de un desfase de la vegetación en su respuesta en este caso, a la ausencia de lluvia. Se puede apreciar el desfase más claramente en la imagen que constituyen la época húmeda completa, donde mayo y junio tienen ND muy bajos, con respecto a las otras 4 imágenes mensuales de la misma época. Este periodo mayo a octubre está considerado como la temporada húmeda, con dos máximos uno en el mes de junio y otro regularmente en septiembre, (Carrasco, 1996). La respuesta de la SBC tonos azules (192-196), se observa hasta el mes de julio, la cual se da en forma "brusca", es decir, no se presenta gradualmente. La fig. 43 con las frecuencias de los ND en cada marca de clase a lo largo del periodo analizado, muestra que julio de 1996 no presentó ningún pixel con ND menores de 152 y en 1997 menores de 142, sin embargo en las gráficas (Fig. 40) obtenidas a partir de estas imágenes, el inicio de la actividad

fotosintética de la vegetación se puede apreciar en forma continúa, en los meses de mayo y junio cambia el número de píxeles (Fi) de los valores altos de ND.

La época seca 1996-1997 que comprende noviembre 1996 a abril 1997 (Fig. 41), nos indica de forma más clara cómo los ND disminuyen paulatinamente, por una reducción de la lluvia. La gráfica de noviembre tiene ND altos (169) por lo que es muy similar a la gráfica correspondiente al compuesto del período. De acuerdo a la respuesta de la vegetación el mes de noviembre debería incluirse en la época húmeda y mayo en la seca.

De los cálculos estadísticos que se hicieron se obtuvo, que los valores de la moda estadística del ND más altos se presentan entre 154 y 184 correspondientes a los meses de noviembre y julio respectivamente en el año de 1996, es decir, se observa claramente el desfase de dos meses en el inicio de la temporada húmeda, la cual climáticamente inicia en mayo en la zona de estudio. Al final de este período, el desfase es de un sólo mes, pues la época húmeda termina en octubre.

Este desplazamiento de la distribución de los valores del ND con respecto a la lluvia se muestra también en las gráficas obtenidas de las imágenes de la época húmeda de 1996, (Fig. 40), los valores más altos se ubican en agosto (marca de clase 204)

Se hizo una comparación entre los resultados obtenidos de las imágenes correspondientes a las épocas secas 1996 y 1997, de las gráficas es posible observar un desplazamiento mayor de la curva hacia la izquierda para los meses de enero y febrero

1997 respecto a 1996. Marzo, resulta muy similar en ambos años. En abril el desplazamiento se da al contrario, es decir, los valores del ND aumentan más en 1997 que en 1996. Si se comparan los meses de las épocas húmedas, mayo y junio de 1997 el desplazamiento es mayor a la derecha, con respecto a 1996. En julio de 1997, primer máximo de lluvia, el aumento de los valores del ND no es tan alto como en 1996, lo que podría interpretarse en una disminución de la precipitación en este mes para 1997. Este análisis es muy preliminar, ya que se deberán tener más datos, tanto meteorológicos como de imágenes.

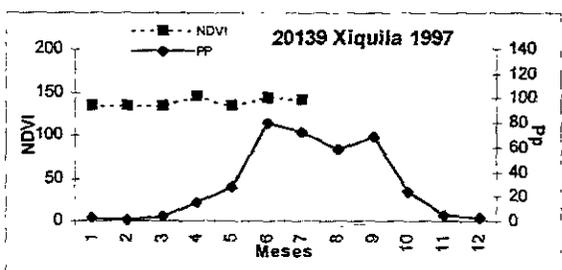
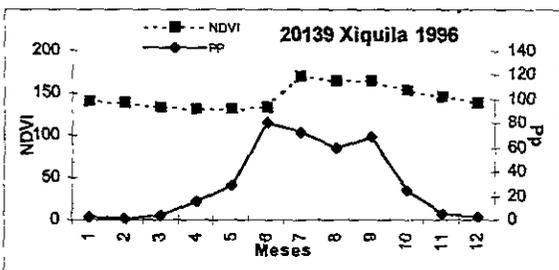
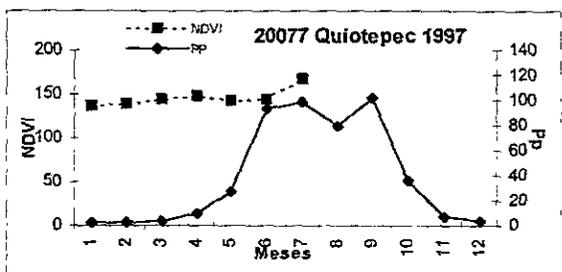
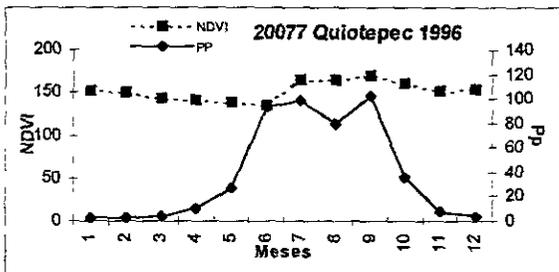
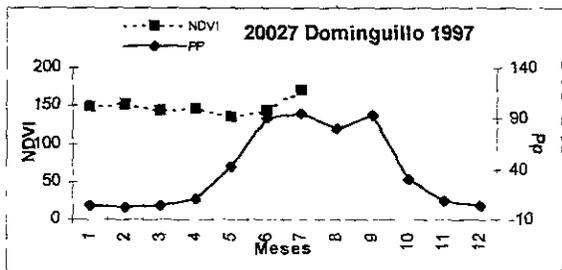
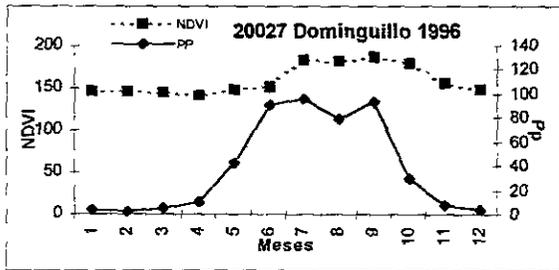
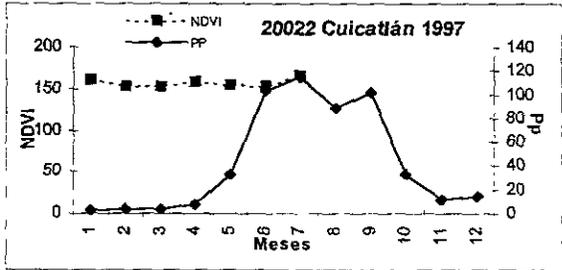
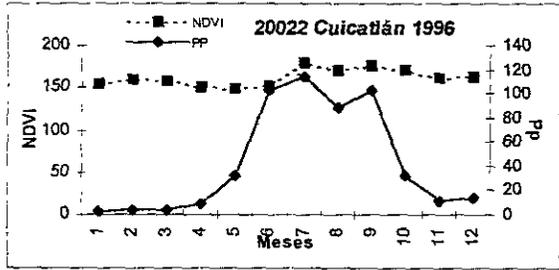
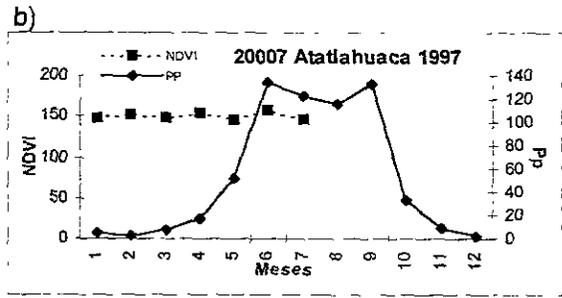
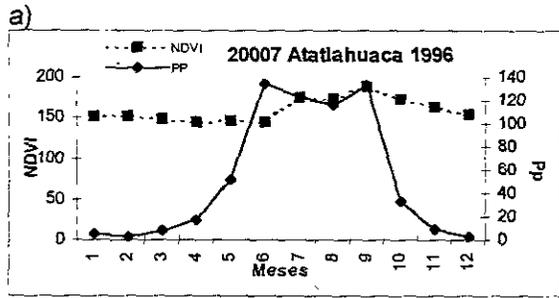
Las fig. 45 a y b corresponden a cinco estaciones meteorológicas que se localizan dentro del área de SBC y SBC perturbada. Se muestran con las líneas discontinuas los valores medios de la precipitación mensual, con líneas continuas los valores del ND para esos puntos. En ellas se observa claramente el desfase de la máxima respuesta de la vegetación respecto a la precipitación más alta recibida, en los cinco lugares estudiados. La curva de la precipitación presenta un aumento en el mes de mayo y el ND del NDVI no sufre cambio, no es sino al mes siguiente cuando se observa la respuesta de la vegetación.

Las características de estas 5 estaciones muestran en la fig. 44.

Del análisis de las 5 gráficas del ND del NDVI y la precipitación media mensual para los 2 años estudiados (Fig. 45 a y b) se pudo observar que los máximos de respuesta de la

Estación		Coordenadas UTM		Estado	Municipio	incluido en reserva	Tipo de vegetación	Altitud msnm	Grad. Húmedad.	Tipo suelo	Pp. anual mm	NDVI integrado.
Número	Nombre	X	Y									
20007	Atatlahuaca	729803	1939873	Oax.	S.J.B. Atatlahuaca	No	SBC	870	BS <sub>1</sub>	H	638.1	1916
20022	Cuicatlán	716274	1969132	Oax.	S.J.B. Cuicatlán	No	SBC perturbada	595	BS <sub>0</sub>	R	517.2	1943
20027	Dominguillo	720660	1953031	Oax.	S.J.B. Cuicatlán	Si	SBC perturbada	723	BS <sub>1</sub>	J	463.9	1914
20077	Quiotepec	713665	1980344	Oax.	S.J.B. Cuicatlán	No	SBC perturbada	545	BS <sub>1</sub>	R	468.7	1829
20139	Xiquila	696268	1996634	Oax.	Tepelmeme V.deM.	Si	SBC perturbada	707	BW	E	364.6	1748

Fig. 44 Características de las cinco estaciones climatológicas, localizadas en SBC o SBC perturbada en 1992.



Pp = precipitación media mensual (mm) NDVI = ND del NDVI máximo mensual.

Fig. 45 a y b Gráficas del NDVI y la precipitación de cinco estaciones climatológicas dentro de la SBC y SBC perturbada. a) 1996 y b) 1997.

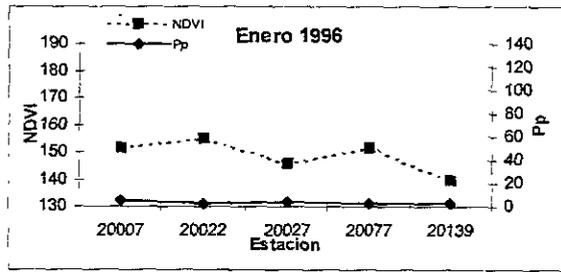
vegetación son en general, muy constantes, se presentan en los meses de julio y septiembre, el primero después del primer máximo de lluvia.

Los valores del ND (Fig. 46) del NDVI de las cinco estaciones meteorológicas estudiadas, se reunieron en una sola gráfica y se analizaron a nivel mensual, se encontró que en general, durante la época de lluvias (mayo-octubre) la respuesta de la vegetación es mayor en 1996 que en 1997. Julio 1996, muestra para cuatro estaciones, valores mayores a 170. En enero y febrero de 1996 se observan tres estaciones con ND del NDVI mayor a 150, pero se considera que esta respuesta se debe a la humedad del suelo proporcionada por la época de lluvia del año anterior, es decir de 1995.

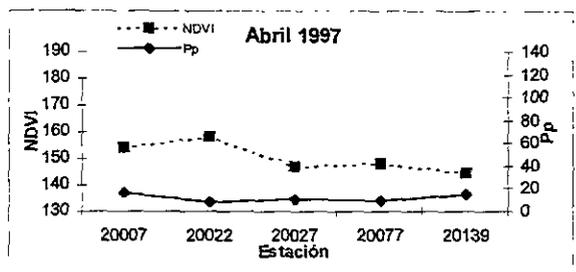
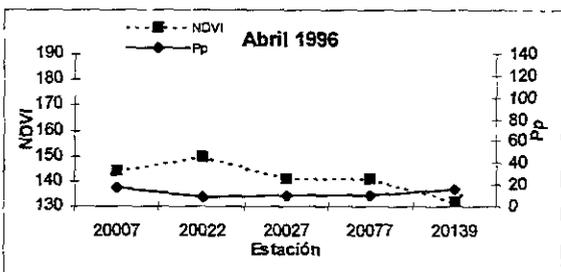
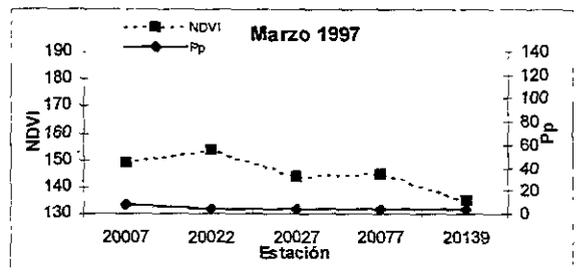
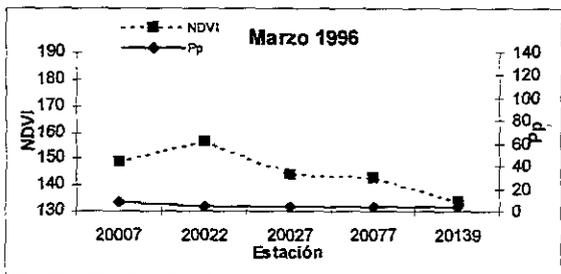
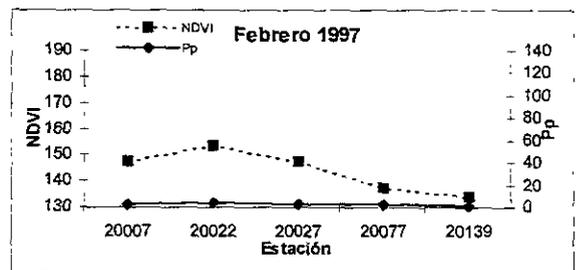
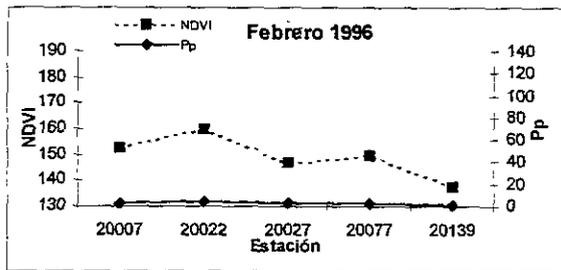
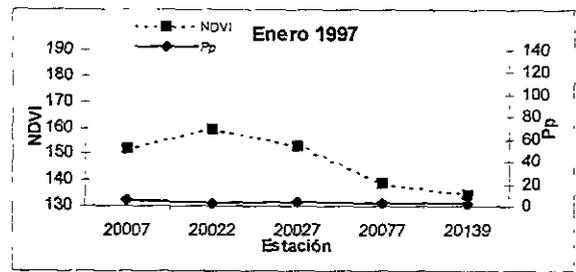
El coeficiente de correlación ( $r$ ) es un índice de asociación entre las variables X (precipitación) y Y (ND del NDVI), donde si  $r$  se aproxima a 1 o -1 existe mayor evidencia de que en el modelo de regresión lineal simple, la variable X contribuya significativamente a explicar a Y, y si  $r$  es igual a 1 o -1 los puntos observados caen exactamente sobre una recta por lo que decimos que entre las variables existe una asociación (Infante y Zárate de Lara, 1997).

En las fig. 47 se presentan los valores de las correlaciones obtenidas entre el ND del NDVI de 1996, 1997 y el promedio de los dos años con la precipitación media mensual (1921-1990) de las cinco estaciones meteorológicas. Se observa que para las estaciones Dominguillo y Xiquila el coeficiente de correlación simple, del valor medio de NDVI, es de 0.64, Atatlahuaca 0.57, Cuicatlán y Xiquila 0.51. En la fig. 47 (correlación desfasada), se

a)

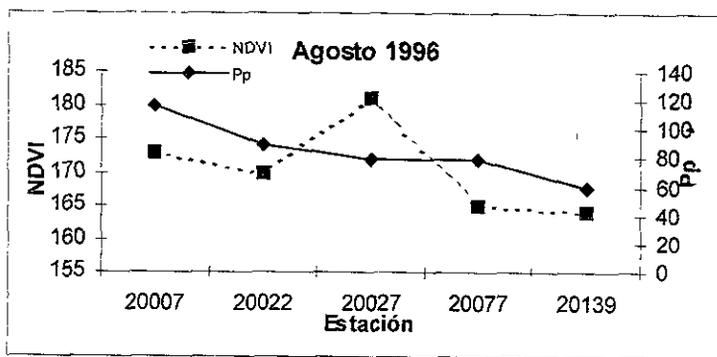
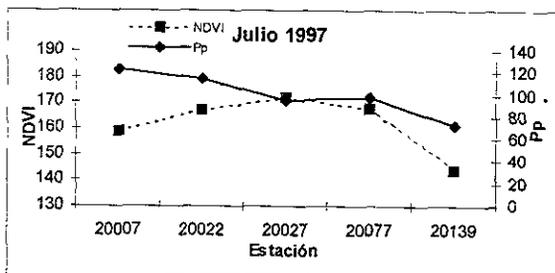
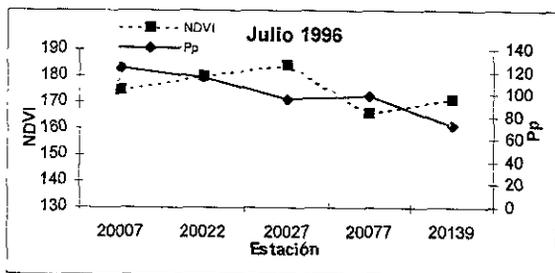
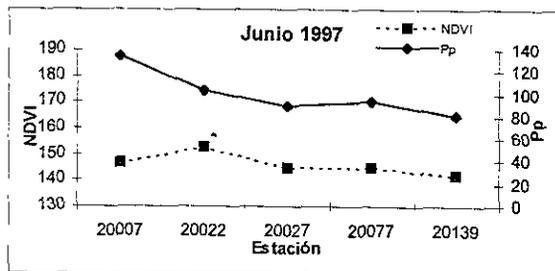
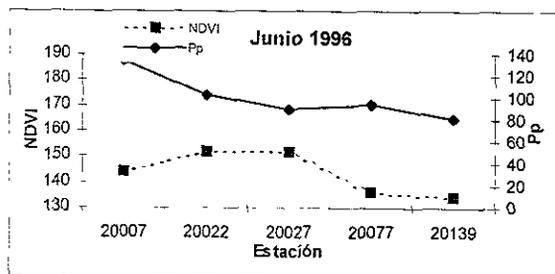
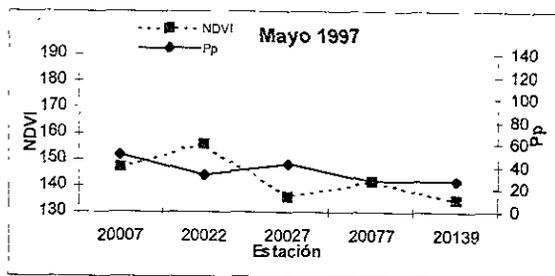
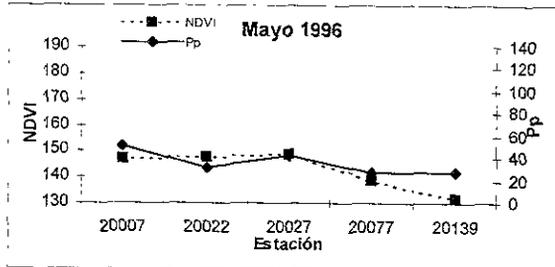


b)



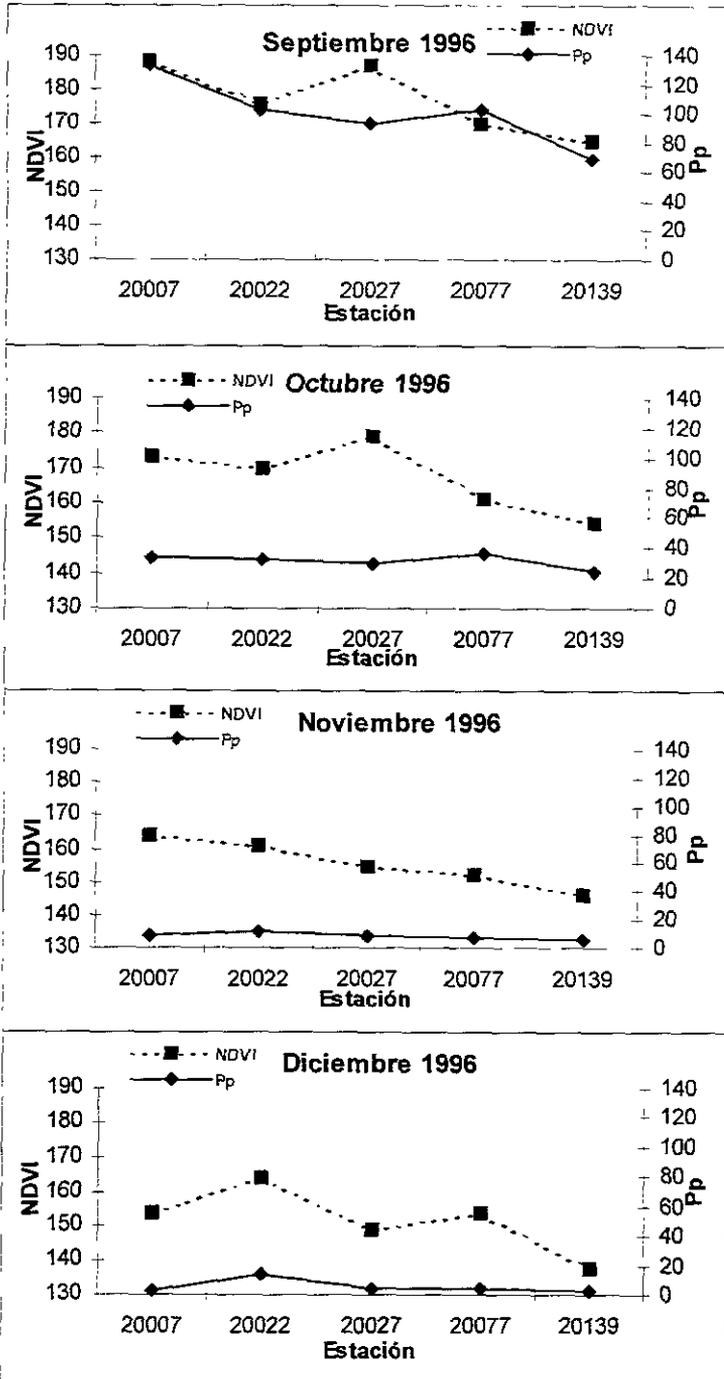
continúa ....

....continuación



continúa...

....continuación



Pp = Precipitación media mensual (mm) NDVI = ND del NDVI máximo mensual  
 Fig.46 Comportamiento del NDVI y la precipitación, de 5 estaciones meteorológicas, a) 1996 y b) periodo de 1997. (20007 es Atlatlahuaca, 20022 es Cuicatlán, 20027 es Quiotepec, y 20139 es Xiquila).

Estación Atlatlahuaca									
MES	CORRELACION SIMPLE					CORRELACION DESFASADA			
	Precipitación (mm)*	NDVI (ND)			Precipitación desfasada (mm)*	NDVI (ND)			
		1996	1997	media		1996	1997	media	
Enero	5.3	152	148	150	3.2	152	148	150	
Febrero	3.1	153	152	152.5	5.3	153	152	152.5	
Marzo	8.2	149	149	149	3.1	149	149	149	
Abril	16.8	144	154	149	8.2	144	154	149	
Mayo	51.4	147	147	147	16.8	147	147	147	
Junio	134.3	144	159	151.5	51.4	144	159	151.5	
Julio	123	175	147	161	134.3	175	147	161	
Agosto	116.6	173			123	173			
Septiembre	133.2	188			116.6	188			
Octubre	33.7	173			133.2	173			
Noviembre	9.3	164			33.7	164			
Diciembre	3.2	154			9.3	154			
A=		152.8	149.74	149.185		148.02	151.191	148.736	
B=		0.130	0.0229	0.0459		0.2191	-0.0105	0.08479	
r=		0.504	0.2937	0.5704		0.8504	-0.1142	0.8935	

Estación Cuicatlán									
MES	CORRELACION SIMPLE					CORRELACION DESFASADA			
	Precipitación (mm)*	NDVI (ND)			Precipitación desfasada (mm)*	NDVI (ND)			
		1996	1997	media		1996	1997	media	
Enero	2.3	155	160	157.5	14	155	160	157.5	
Febrero	3.7	160	154	157	2.3	160	154	157	
Marzo	4	157	154	155.5	3.7	157	154	155.5	
Abril	8.4	150	158	154	4	150	158	154	
Mayo	32.4	148	156	152	8.4	148	156	152	
Junio	103.2	152	153	152.5	32.4	152	153	152.5	
Julio	114.8	180	167	173.5	103.2	180	167	173.5	
Agosto	88.6	170			114.8	170			
Septiembre	102.3	176			88.6	176			
Octubre	32.3	170			102.3	170			
Noviembre	11.2	161			32.3	161			
Diciembre	14	164			11.2	164			
A=		156.3	155.91	154.489		153.72	154.869	153.115	
B=		0.129	0.0395	0.0766		0.1903	0.1067	0.1797	
r=		0.566	0.0399	0.5121		0.8318	0.7942	0.8864	

continúa ...

... continuación

Estación Dominguillo									
MES	CORRELACION SIMPLE					CORRELACION DESFASADA			
	Precipitación (mm)*	NDVI (ND)			Precipitación desfasada (mm)*	NDVI (ND)			
		1996	1997	media		1996	1997	media	
Enero	3.8	146	148	147	4.1	146	148	147	
Febrero	2.6	147	153	150	3.8	147	153	150	
Marzo	4.6	144	144	144	2.6	144	144	144	
Abril	10.5	141	147	144	4.6	141	147	144	
Mayo	42.6	149	136	142.5	10.5	149	136	142.5	
Junio	90.3	152	145	148.5	42.6	152	145	148.5	
Julio	95.5	184	172	178	90.3	184	172	178	
Agosto	79.1	181			95.5	181			
Septiembre	93	187			79.1	187			
Octubre	29.8	179			93	179			
Noviembre	8	155			29.8	155			
Diciembre	4.1	149			8	149			
A=		146.8	142.23	143.742		142.90	143.361	142.828	
B=		0.327	0.1136	0.1913		0.4294	0.2616	0.3419	
r=		0.734	0.4189	0.6403		9629	0.7684	0.9118	
Estación Quiotepec									
MES	CORRELACION SIMPLE					CORRELACION DESFASADA			
	Precipitación (mm)*	NDVI (ND)			Precipitación desfasada (mm)*	NDVI (ND)			
		1996	1997	media		1996	1997	media	
Enero	2.7	152	138	145	4.1	152	138	145	
Febrero	2.5	150	139	144.5	2.7	150	139	144.5	
Marzo	4	143	145	144	2.5	143	145	144	
Abril	10.1	141	148	144.5	4	141	148	144.5	
Mayo	27.2	139	142	140.5	10.1	139	142	140.5	
Junio	94.3	136	145	140.5	27.2	136	145	140.5	
Julio	98.4	166	168	167	94.3	166	168	167	
Agosto	79.6	165			98.4	165			
Septiembre	102.4	170			79.6	170			
Octubre	35.9	161			102.4	161			
Noviembre	7.5	152			35.9	152			
Diciembre	4.1	154			7.5	154			
A=		147.6	140.86	142.837		144.06	140.633	141.464	
B=		0.123	0.1629	0.1092		0.2139	0.2799	0.2467	
r=		0.457	0.6959	0.5144		0.7942	0.9277	0.9009	

continúa ...

. . continuación

Estación Xiquila								
MES	CORRELACION SIMPLE				CORRELACION DESFASADA			
	Precipitación (mm)*	NDVI (ND)			Precipitación desfasada (mm)*	NDVI (ND)		
		1996	1997	media		1996	1997	media
Enero	2.1	140	134	137	2.4	140	134	137
Febrero	1.3	138	135	136.5	2.1	138	135	136.5
Marzo	3.5	134	135	134.5	1.3	134	135	134.5
Abril	15.5	132	145	138.5	3.5	132	145	138.5
Mayo	28.1	132	135	133.5	15.5	132	135	133.5
Junio	80.7	134	144	139	28.1	134	144	139
Julio	73.1	171	142	156.5	80.7	171	142	156.5
Agosto	59.1	164			73.1	164		
Septiembre	68.9	165			59.1	165		
Octubre	24.4	154			68.9	154		
Noviembre	5.5	146			24.4	146		
Diciembre	2.4	138				138		
A=		137.6	135.79	135.065		133.07	137.151	134.557
B=		0.267	0.0953	0.14705		0.4146	0.0744	0.2515
r=		0.586	0.6667	0.6401		0.9107	0.4427	0.9306

\* Media mensual

A = Ordenada al origen

B = Pendiente

r = Coeficiente de correlación lineal

Fig. 47 Tabla de correlaciones para cada estación metereológica, dentro de la SBC y SBC perturbada.

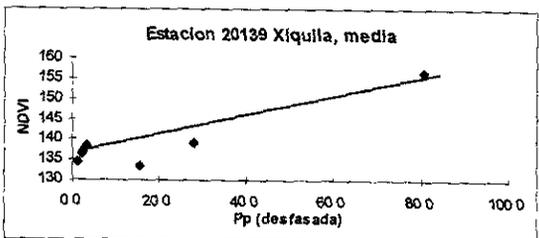
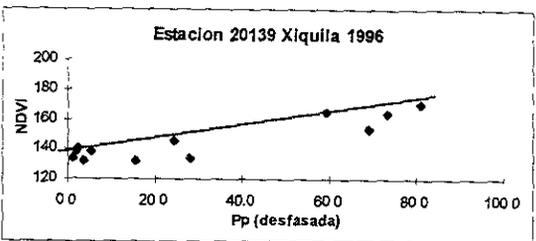
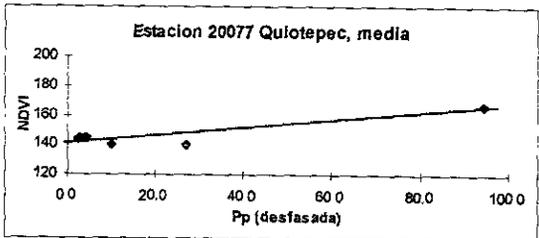
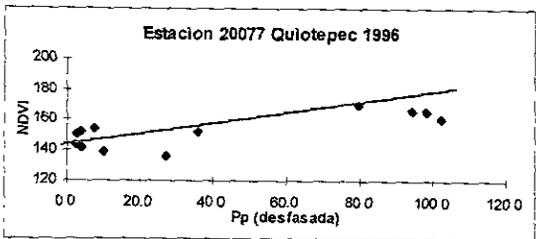
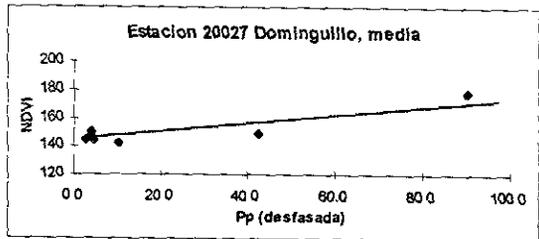
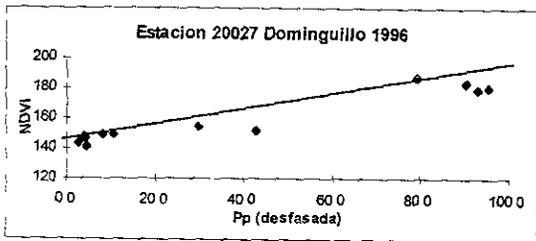
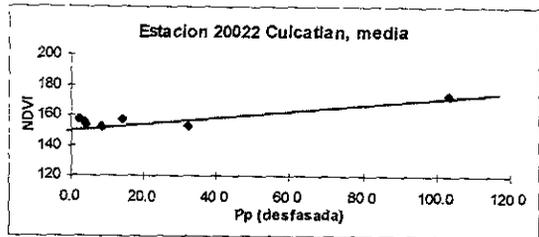
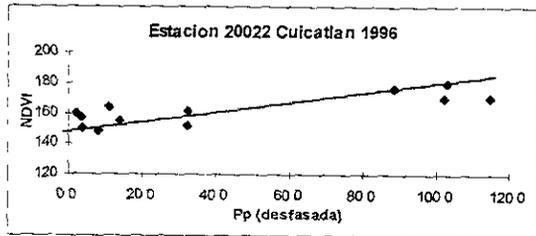
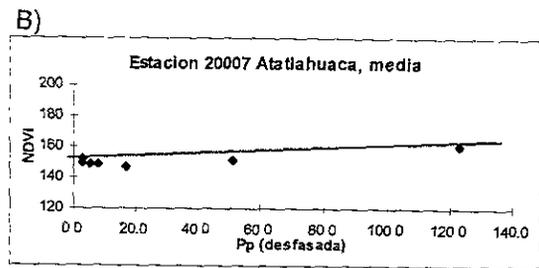
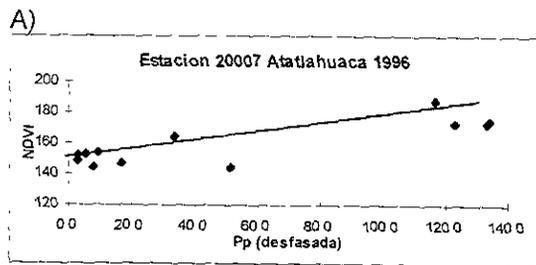
ve que estos valores aumentan considerablemente, Xiquila 0.93, Dominguillo 0.91, Quiotepec 0.90, Atlatlahuaca 0.89 y Cuicatlán 0.88. Este aumento en los valores se debe a que como indica el nombre la correlación se hizo con “desfase”, es decir, los datos de precipitación se recorrieron un mes, de tal forma que a enero, le correspondieron los datos de febrero y a diciembre los de enero. Las gráficas resultante se muestran en la fig.48.

La localización de los puntos de trabajo de campo se muestra en la fig. 49.

Los resultados obtenidos de los puntos de trabajo de las salidas que se realizaron al campo, se muestran en la fig. 50 a y 51, donde resalta, que los valores de ND del NDVI integrado para los puntos georreferenciados en la SBC perturbada, sus valores son más bajos respecto a los de la SBC.

En la fig. 52 se muestra las correlaciones obtenidas entre el NDVI de estos puntos y la precipitación a nivel estacional, como se observa, en cuatro de los seis puntos estudiados, presenta valores mayores de  $r=0.9$ , y en los dos restantes son del orden de  $r=0.88$  y  $0.89$ , indicando una alta correlación lineal simple.

Como ya se indicó en la metodología, se hicieron dos muestreos en el campo, cuya información de las características físicas, así como los valores del ND del NDVI integrado se muestran en la fig. 50 b, los NDVI integrados son del orden de 1819 para las cercanías de Sta. Ma. Ixcatlán y de 1920 para Zoquiapan. La diferencia (101) entre estos dos valores, se puede atribuir a la cantidad de precipitación de los 2 lugares, en el primero se



Pp = Precipitación media mensual (mm)  
 NDVI = ND del NDVI máximo mensual

Fig. 48 Gráficas que muestran la correlación, donde la precipitación se desfaso un mes. A. ND del NDVI de 1996 y B. ND medio del NDVI.

A)

Nombre del punto	Coordenadas		Estado	Municipio	área de la reserva	Vegetación	Altitud msnm	Grad. Húmedad	Tipo de suelo	Precipitación	NDVI Integrado
	X	Y									
Sn. J. Atzingo	675658	2022425	Puebla	Sn. Jose Miahuatlán	dentro	S.B.C. perturbada	1000 - 1500	BS <sub>0</sub>	Regosol	430-450	1691
Ixcatlán	705878	1982439	Oaxaca	Sta. Ma. Tecomavaca	dentro	Selva Baja Caducifolia	500 - 1000	BS <sub>1</sub>	Acrisol	430-540	1819
Ixcatlán	711225	1982629	Oaxaca	Sta. Ma. Tecomavaca	dentro	S.B.C. perturbada	500 - 1000	BS <sub>1</sub>	Acrisol	430-540	1813
carretera											
Mirador	719353	1947866	Oaxaca	S. J. B. Cuicatlán	dentro	Selva Baja Caducifolia	1000 - 1500	BS <sub>1</sub>	Regosol	440-550	1954
Dominguillo	723779	1950434	Oaxaca	S. J. B. Cuicatlán	dentro	Selva Baja Caducifolia	500 - 1000	BS <sub>0</sub>	Regosol	430-540	1917
Zoquiapán	727436	1935781	Oaxaca	S. J. B. Atlatlahuaca	fuera	Selva Baja Caducifolia	1500 - 2000	BS <sub>1</sub>	Acrisol	+560	1920

B)

Nombre del punto	Altitud msnm	Forma de terreno	Pendiente %	Suelo							
				Forma	Exposición	Roca	Profundidad estimada	Pedregosidad superficial	Drenaje	Inundación	
Stama. Ixcatlán	820	cerro	+ 20%	Concava	Este	Sedimentaria	44 cm	10 %	Moderado	No existe	
Zoquiapán	1370	lomerío	15 %	Recta	Noche	Sedimentaria	5 a 10 cm	60 %	Moderado	No existe	

Fig. 50 Tabla de las características de los puntos de campo. A. Georreferenciados y B. Muestreo

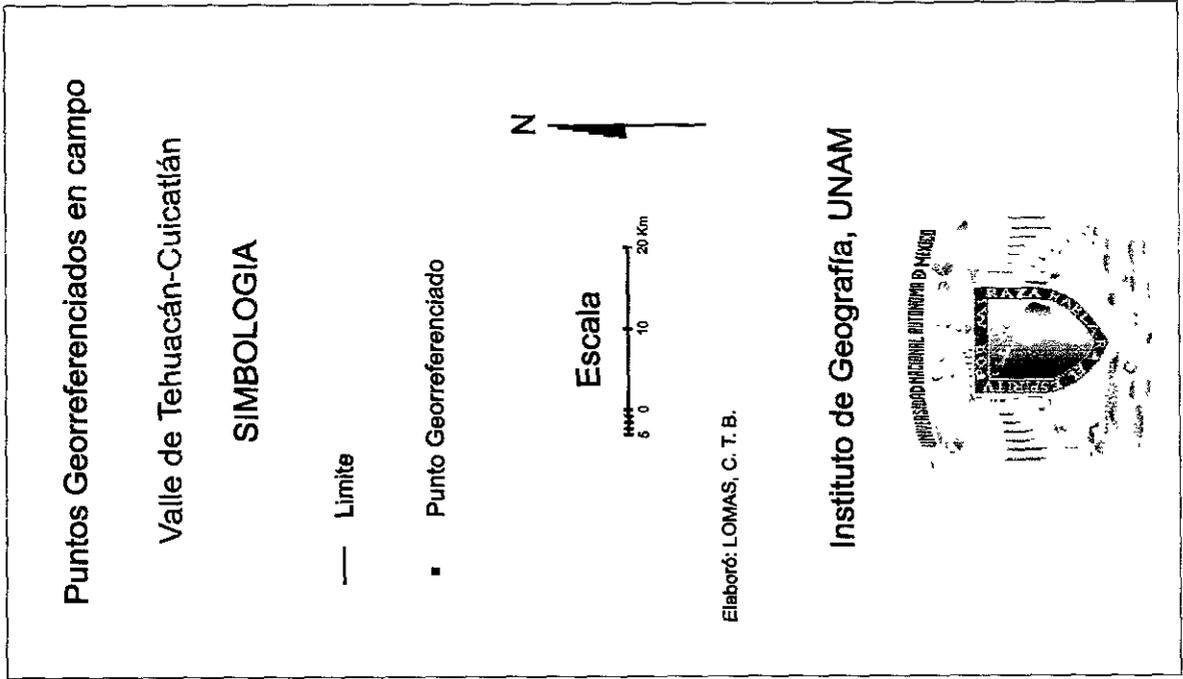
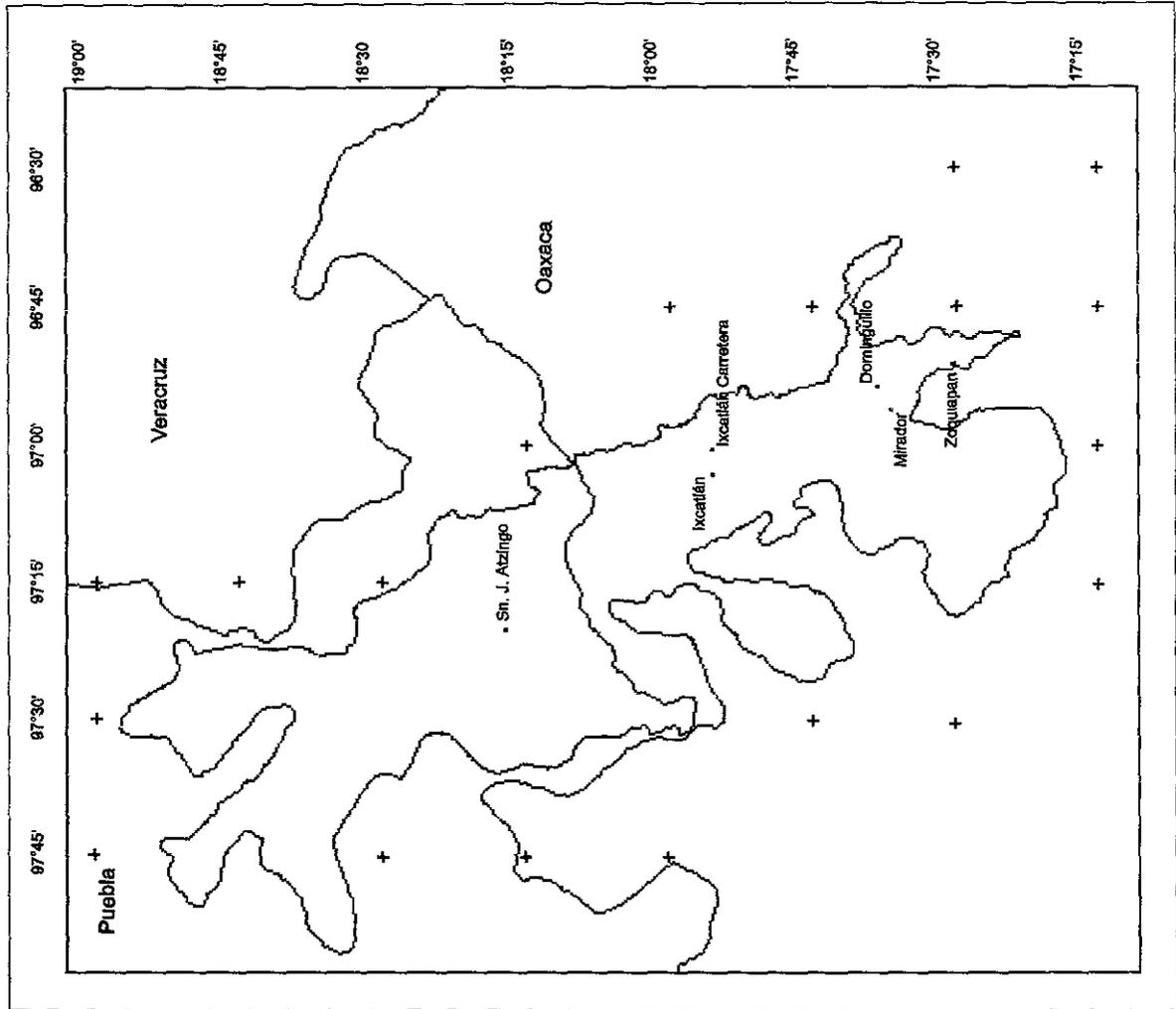


Fig.49 Puntos de trabajo de campo.

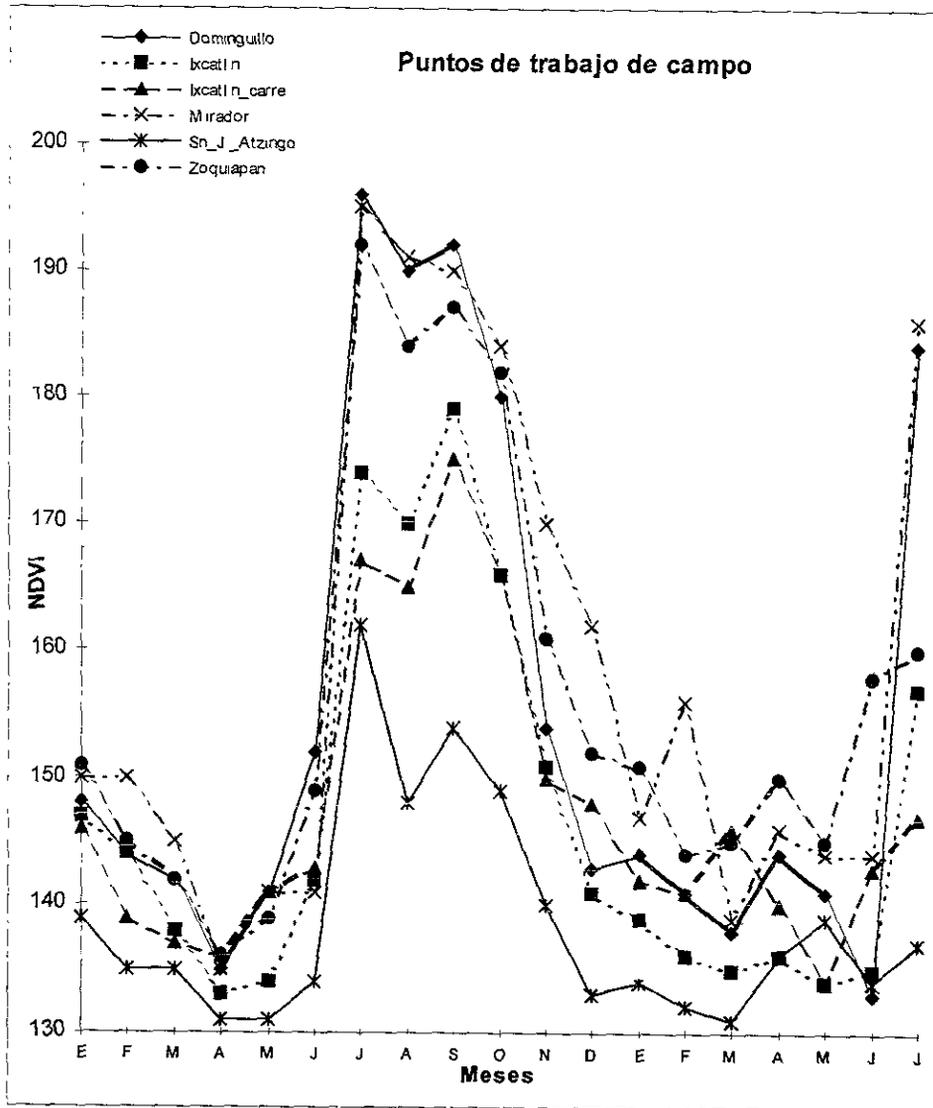


Fig. 51 Gráfica de puntos de trabajo en el campo, sus ND del NDVI a lo largo del año 1996 y el periodo de 1997.

Epoca	Dominguillo		Ixcatlán		Ixcatlán carretera		Mirador		S. J. Atzingo		Zoquiapán	
	NDVI (ND)	Precipitación (mm)	NDVI (ND)	Precipitación (mm)	NDVI (ND)	Precipitación (mm)	NDVI (ND)	Precipitación (mm)	NDVI (ND)	Precipitación (mm)	NDVI (ND)	Precipitación (mm)
húmeda 96	196	450	179	175	175	450	195	450	162	350	192	550
húmeda 97	184	225	157	147	147	175	186	225	139	175	160	275
seca 96	148	22.5	147	146	146	22.5	150	22.5	139	22.5	151	27.5
seca 96-97	154	35	151	150	150	35	170	45	140	35	161	45
A =		150.105		145.155		143.6		158.692		135.455		150.986
B =		0.1113		0.0844		0.0639		0.0891		0.0655		0.0669
r =		0.9628		0.934		0.9215		0.8937		0.8828		0.9141

Fig. 52 Correlación entre el NDVI de los puntos en el campo y su precipitación a nivel estacional.

recibe entre 430 y 540 mm de lluvia al año, en Zoquiapan mayor a 560mm. Otra causa sería la diferencia del porcentaje de la pendiente, así como su exposición lo que da una menor cobertura del dosel vegetal en las inmediaciones de Sta. Ma. Ixcatlán (Fig. 53) y por tanto en una disminución del ND del NDVI integrado.

Esta respuesta de la vegetación también se presenta en la fig. 54 donde se muestran las ligeras diferencias en los comportamientos de los valores de los dos puntos de muestreo, que como se indicó, se pueden atribuir a la variación de factores particulares de sitios muestreados.

De la metodología utilizada se considera buena, de acuerdo a los resultados obtenidos.

Punto de muestreo	Núm. de transecto	Cobertura en 20 m <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )	% cobertura
Zoquiapan	1	26.991	134.95
	2	18.935	94.67
	3	19.092	95.46
	4	52.569	262.85
	promedio	29.397	146.98
Sta. Ma. Ixcatlan	1	14.663	73.32
	3	32.055	160.27
	4	47.406	237.03
	5	22.781	113.90
	6	10.119	50.59
	7	9.361	46.80
	promedio	22.731	113.65

Fig. 53 Cobertura de la SBC en 20 m<sup>2</sup>, para dos puntos.

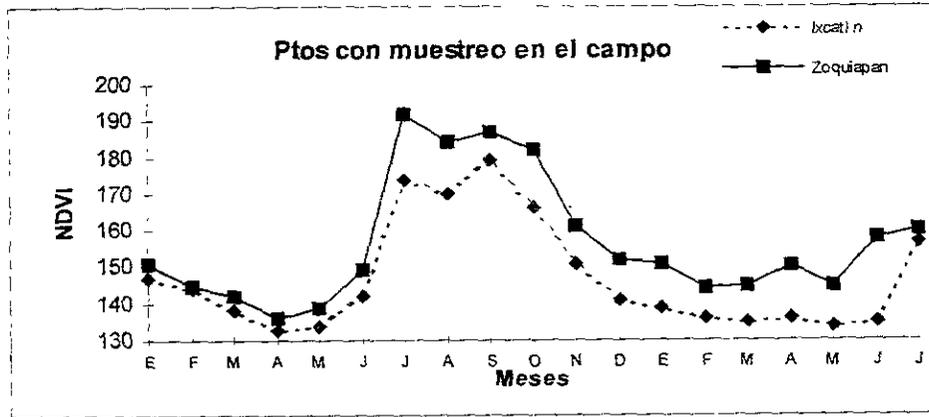


Fig. 54 Gráfica del ND del NDVI de los dos puntos de muestreo, para 1996 y el periodo de 1997.

## **Conclusiones**

En el análisis complementario de la SBC, se observó que la pérdida de este tipo de vegetación no tiene tendencia clara.

En este estudio se encontró, una relación estrecha entre la lluvia y el NDVI de la vegetación analizada. La relación de las dos variables se obtuvo en su distribución temporal como en la espacial. Su análisis se realizó a nivel cualitativo como cuantitativo.

Se determinó un mes de desfase en la respuesta de la vegetación, a la lluvia.

Considerando este desfase, se obtuvieron coeficientes de correlación lineal mayores a 0.9, entre el NDVI y la lluvia.

Para proponer al NDVI como indicador de condiciones de sequía o de humedad, y la "casi" falta de datos de precipitación de los años noventa, es necesario hacer un estudio con imágenes anteriores a 1990 y entonces poder, caracterizar al NDVI en años secos y húmedos.

## Literatura citada

- \*Anyamba,A. and J.R.Eastman.1996 Interannual variability of NDVI over Africa and its relation to El Niño/Southern Oscillation.Int. J. Remote Sensing. 17(13):2533-2548.
- \*Bachem,C.U., Z.A.Fernández, L.A.Kong, B.M.Barrera, N.V.Ramirez, C.F.Gutierrez, M.S.Torres, G.J.González, R.Y.Sánchez, G.O.Hernández y T.J.L.Andrade.1989. Estudio de la vegetación xerófita de Coxcatlán, Puebla, En :Memorias de la reunión sobre líneas de investigación ecológica en zonas áridas. UAM-I.México pp 24
- \*Barnard-Alcaráz.G. y A.Valiente-Banuet.1989. Estructura poblacional y dinámica del establecimiento de Neobuxbaumia tetetzo , En :Memorias de la reunión sobre líneas de investigación ecológica en zonas áridas. UAM-I.México pp 51
- \*Briones,S.M.A. y A.G.H.Quintero.1989. Análisis de la distribución geográfica de los roedores de la zona árida del Valle de Tehuacán-Cuicatlán (Pue.-Oax.), En :Memorias de la reunión sobre líneas de investigación ecológica en zonas áridas. UAM-I.México pp 22-23.
- \*Carrasco,A.G.1996. La precipitación en relación a ciclones tropicales en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán (Pue.-Oax). Tesis licenciatura. Fac. F y L. Col. de Geografía. UNAM, México. 78 p
- \*Chang,J.H.1968. Climate and Agriculture, an ecological survey. Aldine.Chicago.304 p
- \*Chuvieco, E.1996. Elementos de Teledetección espacial. RIALP. España. 368 p
- \*Daniel,W.W. 1993. Bioestadística. Limusa. 485 p
- \*Diallo, A.Diouf, N.P.Hanan, A.N.Diaye and Y.Prévost.1991. AVHRR monitoring of savanna primary production in Senegal, West Africa:1987-1988. Int. J. Remote Sensing. 12(6):1259-1279.
- \*Diario Oficial de la Federación, Organo del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, del 22 de Abril de 1997.Impreso en Talleres Gráficos de la Nación.México.Tomo DXXIII N.16.pp5-6.
- \*Díaz,M.P.G.1989. Efectos dependientes de la densidad en Neobuxbaumia tetetzo, En :Memorias de la reunión sobre líneas de investigación ecológica en zonas áridas. UAM-I.México. pp 50
- \*Dirzo,R.1992. Diversidad florística y estado de conservación de las selvas tropicales de México En: Sarukhan,J. y R.Dirzo México ante los retos de la biodiversidad. CONABIO,México. pp 283-290

- \*Ezcurra, E. y A. Valiente-Banuet. 1989. Líneas de investigación del laboratorio de ecología de comunidades del centro de ecología de la UNAM, En :Memorias de la reunión sobre líneas de investigación ecológica en zonas áridas. UAM-I. México. pp16
- \*Flores, O.V. y P. Gerez. 1994. Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso del suelo. CONABIO y UNAM. México. 439 p
- \*García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen. Offset Larios. México. 218 p.
- \*Gilbert, M.A., F. Maselli, C. Conese and M. Bindi. 1995. Characterization of Primary Productivity Levels of Niger by means of NOAA NDVI Variations. Geocarto International. 10(4):31-41.
- \*Granados, S.D. y M.P. Colín. 1989. Recursos genéticos del Valle de Tehuacán, Puebla, En :Memorias de la reunión sobre líneas de investigación ecológica en zonas áridas. UAM-I. México pp 38
- \*Granados, S.D. y Q.D. García. 1989. Clasificación fisonómica de la vegetación del Valle de Tehuacán Puebla, En :Memorias de la reunión sobre líneas de investigación ecológica en zonas áridas. UAM-I. México pp 27
- \*Guía Roji. 1997. Mapa "Por las Carreteras de México 1997" escala 1:1000000. México
- \*Hernández, M.E.C. y E. García. 1997. Condiciones climáticas de las zonas áridas en México. Geografía y desarrollo. México, (14) :5-16.
- \*Hernández, M.E.C. inédito. Delimitación climática del Valle de Tehuacán-Cuicatlán.
- \*Hernández, M.E.C. 1992. Climas Áridos de México. Tesis doctorado. Fac. Ciencias. UNAM. México. 152 p
- \*Hiernaux, P.H.Y. et C.O. Justice. 1986. Suivi du développement végétal au cours de l'été 1984 dans le Sahel Malien. Int. J. Remote Sensing. 7(11):1515-1531.
- \*Holben, B.H. 1986. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. Int. J. Remote Sensing. 7(11):1417-1434.
- \*Iñerra, P., A. Fernández and J.A. Delgado. 1996. Temporal evolution of the NDVI as an indicator of forest fire danger. Int. J. Remote Sensing. 17(6):1093-1105.
- \*Infante, G.S. y G.P. Zárate de Lara. 1997. Métodos estadísticos, un enfoque interdisciplinario. Trillas. México. 644 p

- \*Instituto de Geografía.1980.Carta "División municipal" tema:Mapas Generales, Atlas Nacional de México I.1.3 escala 1:4000000.México
- \*Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática,1981.Carta "Topográfica Oaxaca E14-6 y Orizaba E14-9".Escala 1:250000.México
- \*Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática,1988.Carta "Edafológica Oaxaca E14-6 y Orizaba E14-9".Escala 1:250000.México
- \*Jackson,I.J.1989. Climate, water and agriculture in the tropics. Longman scientific and technical. U.S. 377p
- \*Jaramillo,V.L. y F.M.González.1983. Análisis de la vegetación arbórea en la provincia florística de Tehuacán-Cuicatlán. Bol.Soc.Bot.México (45):49-63.
- \*Justice, C.O. and P.H.Y. Hiernaux.1986. Monotoring the grasslands of the Sahel using NOAA-AVHRR data:Niger 1983. Int. J. Remote Sensing. 7(11):1475-1497.
- \*Justice,C.O., J.R.G.Townshed, B.N.Holben and C.J.Tucker.1985.Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data. Int. J. Remote Sensing. 6(8):1271-1318
- \*Kenneth,H.F.1985. Sequía, variación climática y desertificación. OMM. Suiza. 35 p
- \*Kjell, I.E. y S.Whiteford.1989.The Tehuacán Valley In: The Keepers of water and earth Mexican Rural Social Organization and Irrigation.University of Texas. Austin,USA pp 18-75
- \*Linacre,E. 1992.Climate data and resources. Routledge. New York. 366 p
- \*Malo,A.R. and S.E.Nicholson.1990. A study of rainfall and vegetation dynamics in the African Sahel using normalized difference vegetation index. Journal of Arid Environments. 19:1-24.
- \*Margalef,R.1977. Ecología. Omega. España. 951 p
- \*Martinez,L.J.E.1989. Efecto nodriza en Cephalocereus hoppenstedtii, En :Memorias de la reunión sobre líneas de investigación ecológica en zonas áridas. UAM-I.México pp 52
- \*Maselli,F., C.Conese, L.Petkov and M.A.Gilabert.1992. Use of NOAA-AVHRR NDVI data for environmental monitoring and crop fore casting in the Sahel, Preliminary results. Int. J. Remote Sensing. 13(14):2743-2749.
- \*Medina,R.A.H.1986. Estudio de los deciles de lluvia y su aplicación a la estimación de la sequía. Sistema Meteorológico Nacional y Secretaria Agricultura y Recursos Hidráulicos. México pp 9-22

- \*Miranda, F. y E.X. Hernández. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. Bol. Soc. Bot. México. (28):29-178.
- \*Nuñez, H.C., G.A. Guzmán y A. Valiente-Banuet. 1989. Determinación de edades de Neobuxbaumia tetetzo mediante su crecimiento anual, **En** : Memorias de la reunión sobre líneas de investigación ecológica en zonas áridas. UAM-I. México pp 50
- \*Oliver, J.E. 1972. Climate and Mans Environment. Wiley and Sons. U.S. 517 p
- \*Oropeza, O.O. y G.S. Alfaro. 1997. Vulnerabilidad global de las zonas áridas a la desertificación. Geografía y desarrollo México, (14) :27-35.
- \*Osorio, O.B.; A. Valiente-Banuet; P. Davila y R. Medina. 1996. Tipos de vegetación y diversidad Beta en el Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla, México. Bol. Soc. Bot. México (59):35-58
- \*Palacio, J.L.P y L.G. Luna. 1993. Sistemas de información geográfica. introducción al manejo del Integrated Land and Water Management Information Systems (ILWIS) versión 1.3. UNAM-Inst. De Geografía. México. 65p.
- \*Prince, S.D. and C.J. Tucker. 1986. Satellite remote sensing of rangelands in Botswana II: NOAA AVHRR and herbaceous vegetation. Int. J. Remote Sensing. 7(11):1555-1570
- \*Prince, S.D. 1991. Satellite remote sensing of primary production: comparison of results for Sahelian grasslands 1981-1988. Int. J. Remote Sensing. 12(6):1301-1311.
- \*Quintero, A.G.H. y S.M.A. Briones. 1989. Análisis de la distribución geográfica de los quiropteros de la zona árida del Valle de Tehuacán-Cuicatlán (Pue-Oax), **En** : Memorias de la reunión sobre líneas de investigación ecológica en zonas áridas. UAM-I. México pp 21-22
- \*Reed, B.C.; D. VanderZee; T.R. Loveland; J.W. Merchant and D.O. Ohlen .1994. Measuring phenological variability from satellite imagery. Journal of vegetation science (5):703-714.
- \*Reed, B.C. 1993. Using remote sensing and geographic information systems for analysis landscape/droughth interaction. Int. J. Remote Sensing. 14(18):3489-3503.
- \*Rzedowski, J. 1992. Diversidad del universo vegetal de México: perspectivas de un conocimiento sólido **En**: Sarukhan, J. y R. Dirzo. México ante los retos de la biodiversidad. CONABIO, México. pp 251-257
- \*Rzedowski, J. 1994. Vegetación de México. Limusa. México. 432 p
- \*Salisbury, F.B. y C.W. Ross. 1994. Fisiología vegetal. Iberoamericana. México. 759 p

- \*Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos e Instituto de Geografía.1992.Carta "Inventario Forestal Periódico Oaxaca E14-6 y Orizaba E14-9".Escala 1:250000.México
- \*Secretaría de Programación y Presupuesto,1985. Carta "Uso del suelo y vegetación Oaxaca E14-6 y Orizaba E14-9".Escala 1:250000.México
- \*Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.1997.carta "Área natural protegida reserva de la biosfera Tehuacán-Cuicatlán".escala 1:250000.México.
- \*Sorani,V.;R.Alvarez y A.Cortés.1995.El inventario forestal nacional de México: resultados y productos derivados de la base de datos geográfica. **En:** Memorias del VII Simposio Latinoamericano de Percepción Remota, sexta reunión nacional SELPER-México. UNAM-Inst. Geografía.México.pp 554-564
- \*Townshed,J.R.G. and C.O.Justice.1986. Analysis of the dynamics of African vegetation using the normalized difference vegetation index. Int. J. Remote Sensing. 7(11):1435-1445.
- \*Trejo,I.1996. Características del medio físico de la Selva Baja Caducifolia en México. Investigaciones Geográficas Boletín del Instituto de Geografía. México. (4):95-110.
- \*Tucker,C.J. 1979. Red and photogrphic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing of Environment. (18):127-150
- \*Tucker,C.J., C.L.Vanpraet, M.J.Sharman and G.Vanlittersum.1985. Satellite Remote Sensing of Total Herbaceous Biomass Production in the Senegalese Sahel: 1980-1984. Remote Sensing Environment 17:233-249
- \*Tucker,C.J., C.O.Justice and S.D.Prince.1986. Monitoring the grasslands of the sahel 1984-1985. Int. J. Remote Sensing. 7(11):1571-1581.
- \*Tucker,C.J.; W.W.Newcomb and H.E.Dregne.1994.Desertification on the south side of the Sahara: did the desert expand from 1980-1993 .Revista SELPER. Chile. 10(3-4):76-80
- \*Valiente,B.L.1991.Patrones de precipitación en el Valle semiárido de Tehuacán, Puebla México. Tesis licenciatura.Fac. Ciencias. UNAM, México. 65 p
- \*Valiente-Banuet,A. y E.Ezcurra.1989. Aspectos causales de la asociación Neobuxbaumia tetetzo - plantas nodriza en el Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla, **En :**Memorias de la reunión sobre líneas de investigación ecológica en zonas áridas. UAM-I.México pp 51
- \*Valiente-Banuet,A.1995. La ecología y los desiertos de México. Universidad de México. UNAM. México (536-537) :39-42.
- \*Walter,H.1977.Zonas de vegetación y clima. Omega. Barcelona. 245 p

\*Woodward,F.I.1987. Climate and Plant distribution. Cambridge University Press. U.S. 174p

\*Wylie,B.K., J.A.Harrington, S.D.Prince and I.Denda.1991. Satellite and ground-based pasture production assessment in Niger:1986-1988. Int. J. Remote Sensing. 12(6):1281-1300

\*Zavala,H.J.A., V.M.A.Armella, M.D.García-Suárez y G.F.Vite. 1989.Estudios poblacionales de especies selectas del Valle de Zapotitlán, Pue y de la Barranca de Metztitlan, Hgo, En :Memorias de la reunión sobre líneas de investigación ecológica en zonas áridas. UAM-I.México pp 44

## Indice de Figuras

	Pag
figura 1. Localización del Valle de Tehuacán-Cuicatlán .....	17
figura 2. Mapa Fisiográfico del Valle de Tehuacán-Cuicatlán.	19
figura 3. Tipos climáticos de acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por García 1988 .....	21
figura 4. Elementos que constituyen un sistema de percepción remota satelital .....	28
figura 5. Sistema de percepción remota satelital de equipo de barrido .....	30
figura 6. Órbita de los satélites polares .....	31
figura 7. Comportamiento espectral de la vegetación .....	33
figura 8. Tabla de las correlaciones entre los mapas utilizados .....	38
figura 9. Tabla de los 4 periodos para el trazo de las isoyetas	39
figura 10. Selección de imágenes AVHRR-NOAA .....	43
figura 11. Tabla de los compuestos máximos, para cada época.....	42
figura 12. Tabla de los grupos de vegetación y uso del suelo SPP, 1985, dentro del Valle de Tehuacán-Cuicatlán.	48
figura 13. Uso del suelo y vegetación en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, 1985 .....	49
figura 14. Uso del suelo y vegetación en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, 1992.....	53
figura 15. Tabla de los grupos de vegetación y uso del suelo del inventario forestal periódico, SARH e Inst. Geografía, 1992.....	52
figura 16. Selva baja caducifolia en a. 1985 y en b.1992.....	57
figura 17. Tabla de los cambios de la selva baja caducifolia, de 1985 a 1992.....	56
figura 18. Tabla de los tipos de suelo y su área dentro del Valle de Tehuacán-Cuicatlán.....	56
figura 19. Suelos en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán.....	63
figura 20. Tabla de los tipos de suelo en la SBC dentro del Valle de Tehuacán-Cuicatlán.....	65
figura 21. Tabla de la reserva de la biosfera Tehuacán-Cuicatlán.....	66
figura 22. Área protegida con el carácter de Reserva de la Biosfera, la región denominada Tehuacán-Cuicatlán.....	67
figura 23. Tabla de la SBC para 1985 y 1992, dentro del Valle y dentro de la Reserva de la Biosfera.....	70
figura Tabla de la relación entre el gradiente de humedad	

24.	y la SBC en 1985 y 1992.....	70
figura	Vías de comunicación en el Valle de Tehuacán-	
25.	Cuicatlán y área de la SBC a. en 1985 y b. en 1992.	71
figura	Tabla de la altitud (msnm) y la distribución de la	
26.	SBC en 1985 y 1992.....	75
figura	Municipios del Valle de Tehuacán-Cuicatlán.....	77
27.		
figura	Tabla de los municipios y cabeceras localizadas	
28.	dentro del Valle de Tehuacán-Cuicatlán.....	79
figura	Tabla de los municipio dentro del Valle, para la	
29.	Selva Baja Caducifolia en 1985 y en 1992.....	81
figura	Estaciones climatológicas, utilizadas en el trabajo....	85
30.		
figura	Mapa de isoyetas de la época húmeda (Mayo a	
31.	Octubre).....	87
figura	Mapa de isoyetas de la época húmeda (Mayo a	
32.	Julio).....	89
figura	Mapa de isoyetas de la época seca (Noviembre a	
33.	Abril).....	91
figura	Mapa de isoyetas de la época seca (Enero-Abril).....	93
34.		
figura	Imágenes AVHRR del NOAA-14, compuestos	
35.	máximos del NDVI (Enero a Abril 1996).....	97
figura	Imágenes AVHRR del NOAA-14, compuestos	
36.	máximos del NDVI (Mayo a Octubre 1996).....	99
figura	Imágenes AVHRR del NOAA-14, compuestos	
37.	máximos del NDVI (Noviembre 1996 a Abril 1997)...	101
figura	Imágenes AVHRR del NOAA-14, compuestos	
38.	máximos del NDVI (Mayo a Julio 1997).....	103
figura	Gráficas producto de las imágenes, época seca	
39.	1996.....	105
figura	Gráficas producto de las imágenes, época húmeda	
40.	1996.....	106
figura	Gráficas producto de las imágenes, época seca	
41.	1996-1997.....	107
figura	Gráficas producto de las imágenes, época húmeda	
42.	1997.....	108
figura	Tabla de distribución de los ND del NDVI del	
43.	periodo trabajado, para la SBC.....	109
figura	Características de las cinco estaciones	
44.	climatológicas, localizadas en SBC o SBC	
	perturbada en 1992.....	113
figura	Gráficas del NDVI y la precipitación en cinco	
45.	estaciones climatológicas, dentro de la SBC y SBC	
	perturbada a.1996 y b.1997.....	114
figura	Comportamiento del NDVI y la precipitación de 5	

46.	estaciones meteorológicas a. 1996 y b. 1997.....	117
figura	Tabla de correlaciones para cada estación	
47.	meteorológica, dentro de la SBC y SBC perturbada.	119
figura	Gráfica que muestra la correlación donde la	
48.	precipitación se desfaso un mes a. ND del NDVI de	
	1996 y b. ND medio del NDVI .....	123
figura	puntos de trabajo de campo.....	125
49.		
figura	Tabla de las características de los puntos de campo	
50.	a. georreferenciados y b.muestreo.....	124
figura	Gráfica de los puntos georreferenciados en el	
51.	campo, de sus ND del NDVI a lo largo del año1996	
	y el periodo de 1997.....	127
figura	Correlación entre el NDVI de los puntos de campo y	
52.	su precipitación a nivel estacional.....	128
figura	cobertura de la SBC en 20m <sup>2</sup> , para dos puntos.....	129
53.		
figura	Gráfica del ND del NDVI de los puntos de	
54.	muestreo, para 1996 y el periodo de 1997.....	130