



Casa abierta al tiempo

**PATRONES DE VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL MATORRAL
XERÓFILO EN LA SUBCUENCA DE ZAPOTITLÁN, PUEBLA.**

T E S I S

Que para obtener el grado de

Maestra en Biología

PRESENTA

BIÓL. ESTHER SANDOVAL PALACIOS

DIRECTOR: DR. ALEJANDRO ZAVALA HURTADO

ABRIL, 2010

La Maestría en Biología de la
Universidad Autónoma Metropolitana
Pertenece al Padrón de
Postgrados de Calidad del CONACyT

“Al final, conservaremos lo que amamos. Amaremos lo que entendemos.
Entenderemos lo que nos es enseñado”

Baba Dloum

**El jurado designado por la
División de Ciencias Biológicas y de la Salud
De la Unidad Iztapalapa aprobó la tesis que presentó**

Biól. Esther Sandoval Palacios

El día 09 de abril del año 2010

Comité Tutorial y Jurado

Tutor: Dr. José Alejandro Zavala Hurtado

Asesor: Dr. Pedro Luis Valverde Padilla

Asesor: Dr. Franz E. Mora Flores

Sinodal: M en C. Francisco González Medrano

Sinodal: Dr. Miguel Ángel Armella Villalpando

Sinodal: M. en C. Gerardo López Ortega

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de tesis lo culminé gracias a muchas personas que me apoyaron incondicionalmente y colaboraron con la investigación y la realización de este trabajo final, debo mencionar a mi director de tesis Alejandro Zavala, a quien le agradezco compartir conmigo su conocimiento y grandes ideas, su disponibilidad constante para desarrollar y enriquecer la investigación, su apoyo incondicional de principio a fin y definitivamente su confianza en mí. Alejandro no solo guió este trabajo, hizo de muchas vagas, débiles e insustentables ideas de trabajo de tesis, una en la que ahora es este trabajo.

A los miembros del Comité Tutorial: el Dr. Pedro Luis Valverde y el Dr. Franz Mora por sus sugerencias y el apoyo brindado en la realización de la tesis.

Al M. en C. Francisco Medrano, al Dr. Miguel Ángel Armella y al M. en C. Gerardo López por formar parte del jurado, por su tiempo dedicado a la rápida revisión y por las observaciones para mejorar el trabajo.

A mi querido amigo, Gilberto Hernández, por su apoyo incondicional, por haber estado pendiente del desarrollo del trabajo.

A mi guía número uno, Pedro Miranda, por su valiosa contribución a este trabajo en campo.

A Monse y Sombra, por haberme acompañado en el trabajo de campo y por todas las demostraciones de cariño y apoyo.

Al Ing. Miguel Gallegos y al Ing. Alejandro Juarez, por la oportunidad y facilidades que me brindaron para concluir esta tesis.

A mi Madre que con esfuerzo, dedicación y cariño nos ha convertido a mi hermana y a mí, en estas mujeres profesionales que ahora somos.

A mi Padre que siempre nos brindó su apoyo para realizarnos profesionalmente y que fue la herencia más grande que nos dejó. Donde estés, mil gracias.

A Gilmar y a Zuriel por las tardes de juegos, por los momentos de risas, por los llantos, por los viajes compartidos, por todo eso que me hace quererlos tanto.

A Israel, mi compañero de estos años, por aceptarme como soy y por su inmenso amor y confianza le agradezco su paciencia, ayuda y apoyo incondicional. ¡Gracias por ser y por estar!

A mi pequeño angelito **Santiago**, su llegada a mi vida hizo posible la culminación de mi maestría y el cumplimiento de muchos de mis sueños, con sus besos, su sonrisa y amor ha logrado que este sea ahora un objetivo cumplido.

RESUMEN

Presentamos en este trabajo el análisis de la estabilidad (persistencia) de las comunidades vegetales del valle semiárido de Zapotitlán, Puebla, después de un periodo de 23 años (1980 – 2003). En 2003 se realizaron muestreos de la vegetación perenne en 27 sitios dentro de la subcuenca de Zapotitlán que habían sido analizados en 1980. A partir de un registro de 104 especies se definieron tres unidades de vegetación: Cardonal, Tetechera y Matorral. Las tres unidades se diferencian claramente una de la otra para las dos muestras en el tiempo. Se analizó la estructura de la vegetación a partir de las condiciones medioambientales del entorno, definiendo cuáles factores son más importantes en la conformación de las unidades vegetales. El Cardonal tiende a establecerse en suelos con relativamente altas concentraciones de Mg y MO, pendientes fuertes, mayores altitudes y orientaciones Sureste; la Tetechera se agrupa en suelos con altas concentraciones de Ca y con alto porcentaje de Arcilla, pendientes fuertes a altitudes intermedias con predominancia de una orientación NW; y el Matorral se agrupa en suelos limosos con textura fina y con relativamente altas concentraciones de K y P, a menores altitudes, pendientes suaves y orientación Noroeste. La persistencia de las comunidades se analizó a tres niveles jerárquicos de escala analítica y evaluamos si para cada uno de ellos existían cambios estructurales significativos, en las tres unidades vegetales. Los resultados muestran que, mientras el Cardonal no tuvo cambios importantes, el Matorral aumentó su extensión espacial a expensas de la Tetechera. Las tres unidades de vegetación resultaron ser inestables al nivel de abundancias absolutas y

estables al nivel de jerarquía de abundancias y composición de especies, aunque la Tetechera resultó marginalmente inestable en su jerarquía de abundancias, lo que indica que es la unidad de vegetación que más cambios ha sufrido en los últimos 23 años. Estos cambios parecen implicar una “invasión” del Matorral sobre la Tetechera, tal vez producido por intervenciones humanas que han implicado desmontes y subsecuente abandono de los terrenos, sin que se haya dado un proceso de regeneración. Finalmente, a partir de la categorización de los tres tipos de vegetación, se generaron funciones discriminantes para tratar de predecir las unidades de vegetación presentes en cualquier punto de la subcuenca, considerando seis unidades resultantes de las combinaciones entre los tres tipos de vegetación originalmente definidos. Para esto, se produjo un modelo que describe la relación entre vegetación y variables medioambientales que se incorporó a un Sistema de Información Geográfica para generar un modelo cartográfico que, a su vez, se utilizó para obtener un mapa de distribución espacial de las unidades de vegetación. Verificaciones de campo indicaron que las categorías de vegetación utilizadas no proveen de la suficiente resolución espacial para representar cartográficamente, de manera adecuada, a la heterogeneidad ambiental presente en la zona de estudio. Los resultados del análisis de dinámica de las comunidades vegetales en la subcuenca de Zapotitlán constituyen una base para estudios posteriores de dinámica de metacomunidades y ecología de invasiones que, a su vez, pueden constituir fundamentos robustos para trabajos de restauración y conservación ecológica.

ABSTRACT

An analysis of stability (persistence) of plant communities of the semiarid valley of Zapotitlan, Puebla, after a period of 23 years (1980 to 2003) is presented here. In 2003 we sampled perennial vegetation at 27 sites previously analysed in 1980 in the sub-basin of Zapotitlan. Three vegetation types were recognised from the abundance of 104 recorded species: Cardonal Tetechera and Matorral. The three units are clearly differentiated from each other in the two samples over time. We analyzed the structure of the vegetation related to relevant environmental factors, defining which of them were most important in structuring the plant communities. The Cardonal was found in soils with relatively high concentrations of Mg, MO, steep slopes, and relatively high elevations and in Southeast slopes. The Tetechera was identified in terrains with high concentrations of Ca and with high percentages of clay, on steep slopes at intermediate altitudes predominantly with NW direction, and the Matorral was found in loamy fine textured soils with relatively high concentrations of K and P, at lower altitudes, and gentle northwest slopes. The persistence of the communities was analyzed at three hierarchical analytical levels (composition, hierarchy of abundance, and absolute abundance of species). We evaluated the observed significant structural changes in the three plant communities. The results showed that the Cardonal had no significant changes, whereas the Matorral increased its spatial extent at the expense of the Tetechera. The three vegetation types were unstable at the level of absolute abundances and stable at the levels of hierarchy of abundances and species composition. Nevertheless, the Tetechera was marginally unstable in its

hierarchy of abundances, emphasizing that this unit is the one with more vegetation changes in the past 23 years. These changes appear to involve an invasion of Matorral' species on Tetechera' stands, perhaps caused by human interventions such as clearing and subsequent abandonment of the land, without a process of regeneration. Finally, from the categorization of the three types of vegetation, discriminant functions were generated in an attempt to predict the vegetation units present at any point in the region. For this, we considered six units resulting from the combinations between the three vegetation types originally defined. So, a model that describes the relationship between vegetation and environmental variables was produced and incorporated in a Geographic Information System to generate a model, which, in turn, was used to map the spatial distribution of vegetation units. Field verifications indicated that the vegetation categories used in this work did not provide sufficient spatial resolution to encompass appropriately the environmental heterogeneity of the study area. The results of our analysis on the dynamics of plant communities in the Zapotitlan valley provide a basis for further studies on metacommunities dynamics and invasion ecology that, in turn, would eventually provide strong foundations for restoration work and ecological conservation.

INDICE

RESUMEN	6
ABSTRACT	8
1 INTRODUCCION	12
1.1 Dinámica de comunidades	12
1.2 Diversidad Biótica de Zonas Áridas de México	14
1.3 Cambios de uso de suelo: Presiones de uso	16
1.4 Escalas y Conservación	18
2 ANTECEDENTES	20
3 OBJETIVOS	24
4 HIPÓTESIS	25
5 MÉTODOS	26
5.1 Área de estudio	26
5.2 Ubicación de los sitios de colecta y colecta de información	28
5.3 Procesamiento de datos y análisis estadísticos	30
5.3.1 Análisis de Clasificación Multivariada	30
5.3.2 Análisis Discriminante Múltiple	31
5.3.3 Análisis Canónico de Correspondencias	32
5.3.4 Cambios en la estructura de la vegetación	33
5.3.4.1 Análisis al nivel de abundancia absoluta de las especies	33
5.3.4.2 Análisis al nivel de jerarquías de abundancia	33
5.3.4.3 Análisis al nivel de presencia-ausencia de las especies	34
5.3.5 Distribución espacial de unidades vegetales	35
5.3.5.1 Fracción de cobertura vegetal	35
5.3.5.2 Cartografía temática	38
5.3.5.3 Esquema de clasificación de las unidades de vegetación	39
5.3.5.3.1 Validación del mapa de distribución de unidades vegetales	41
6 RESULTADOS	42
6.1 Sitios de colecta y colecta de información	42
6.1.1 Ubicación geográfica de los sitios de muestreo	42
6.1.2 Composición de la Vegetación e información medioambiental	42
6.2 Análisis de clasificación multivariada	44
6.3 Análisis de discriminante múltiple	46
6.4 Análisis de correspondencia canónico	51
6.5 Cambios en la estructura de la vegetación	55
6.6 Fracción de terreno cubierta con vegetación	57

6.7 Esquemas de clasificación de unidades vegetales	61
6.7.1 Asignación de valores de mapas temáticos a las unidades vegetales	63
6.7.2 Validación del mapa	65
7 DISCUSION	67
BIBLIOGRAFIA	77
ANEXOS	87

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Dinámica de comunidades

Una comunidad se puede definir como un conjunto de poblaciones de especies diferentes que coexisten en un tiempo y lugar determinados. Aunque este concepto puede parecer muy claro, la definición de una comunidad en el campo normalmente es bastante complicada. De hecho, actualmente se acepta que más que estudiar a entidades discretas, la ecología de comunidades estudia un nivel de organización caracterizado por propiedades emergentes que lo distinguen de otros niveles como son las poblaciones y los individuos (Begon, Harper & Townsend 1996).

La dinámica de una comunidad puede ser definida como el cambio, en el transcurso del tiempo, de un vector de alguna medición de la conducta de los componentes de la comunidad (Austin 1981). Los cambios observados en estudios de dinámica de comunidades debe ser fraccionada en sus diferentes componentes como son la variación espacial y estacional, a largo plazo, tendencias sucesionales, etc.

Por otro lado, los patrones de variación espacial de las comunidades pueden estar determinados por la variación espacial de los factores ambientales que las afectan, además de que pueden también estar relacionados con la variación ambiental temporal, en ausencia de cualquier variación ambiental espacial fija (Ives y Klopfer 1997). Por ejemplo, las necesidades energéticas y la tolerancia térmica pueden poner un límite latitudinal y altitudinal a la distribución de especies, así como disponibilidad de recursos, variables climáticas, y otros factores que influyen en su reproducción y supervivencia. Por lo tanto, el estudio de la dinámica de las

comunidades necesariamente debe estar ligado con observaciones del comportamiento de factores ambientales que determinan la variación en la conducta de ellas. Así, es importante tomar en cuenta fluctuaciones de variables tales como radiación, precipitación, temperatura, estatus de humedad y nutrimentos en el suelo y perturbaciones por actividades humanas o catástrofes naturales. Algunas variaciones geomorfológicas como son la altitud, topografía, pendiente, etc., aunque presentan variaciones en tiempo geológico, se pueden considerar como constantes en un estudio que abarca tiempos ecológicos.

Las comunidades naturales constituyen sistemas dinámicos que presentan distintos niveles de variabilidad temporal en función, tanto de presiones externas, como de dinámicas internas de las poblaciones que las constituyen. La persistencia de las comunidades es un componente de la estabilidad cuya definición depende, entre otros factores, de la escala de resolución con que es estimado. La estabilidad puede ser analizada a tres niveles de resolución numérica: abundancia absoluta, jerarquía de abundancias y composición de especies (presencia-ausencia de cada especie) (Rahel 1990). Por lo tanto, la estimación de la estabilidad de una comunidad depende del nivel de resolución numérico que es utilizado y de la naturaleza jerárquica de la persistencia de ella, esto es, de la escala de análisis.

El estudio de la dinámica de las comunidades depende de la evidencia provista por observaciones en sitios permanentes. La discriminación de los diferentes componentes de la variación temporal está supeditada a tener observaciones en un

área dada durante un período suficientemente largo para incluir los patrones principales de conducta temporal que son relevantes para la comunidad bajo estudio.

Las investigaciones de dinámica de comunidades registran características sintéticas de la naturaleza de estas asociaciones como son: composición y diversidad (tanto de especies como de estrategias funcionales).

1.2 Diversidad Biótica de Zonas Áridas de México

México se destaca a nivel mundial por su gran diversidad biológica; resultado de su historia geológica, ubicación intermedia entre dos regiones biogeográficas (neártica y neotropical) y su topografía, reflejándose en la presencia de diferentes climas y subclimas, así como de microambientes (Toledo 1988, Sarukhán 1995).

En nuestro país se han generado diversos tipos de comunidades vegetales, destacando el Matorral xerófilo que abarca el 40% del territorio nacional (Rzedowski 1978), de tal manera que las regiones ecológicas áridas y semiáridas son las más extensas. Aunque su distribución predomina en el norte, este tipo de vegetación alcanza el extremo sureste de Puebla y el noroeste de Oaxaca; que pertenecen a la Región de Tehuacán-Cuicatlán (Rzedowski 1978), la cual es un importante centro de endemismo de la flora de este tipo de comunidades (Dávila et al. 1993).

Las zonas áridas y semiáridas se caracterizan por altos niveles de radiación solar, escasa y poco predecible precipitación y suelos inmaduros con niveles variables de nutrimentos minerales (Noy-Meir 1973, Orians y Solbrig 1977). La fotosíntesis, y en general la productividad de los diferentes niveles tróficos, está limitada normalmente

por disponibilidad de agua más que por luz y por CO₂, aunque la radiación fotosintéticamente activa puede ser un factor limitante bajo ciertas circunstancias (Zavala Hurtado et al. 1998). Se puede decir que el agua y los factores ambientales que influyen en su disponibilidad para las plantas (textura del suelo, radiación solar, topografía, etc.) constituyen el principal determinante ambiental de los patrones espaciales y temporales de la vegetación del desierto.

Parece ser que la coexistencia de especies y formas de vida en algunos desiertos se da por sus diferencias en cuanto a la utilización de los recursos (Kemp 1983, Cody 1986). Un ejemplo es la distribución de raíces en el perfil de suelo, el cual indica que diferentes especies y formas de vida explotan distintos niveles del perfil. También hay indicaciones de que los recursos son explotados en diferentes épocas del año por especies diferentes. Asimismo, se ha sugerido que la utilización de recursos varía espacialmente dentro de un hábitat debido a topografías heterogéneas y a la distribución de otras especies que pueden tolerar, facilitar o inhibir el establecimiento de otras plantas (Connell y Slatyer 1977).

Una de las principales características de los ecosistemas áridos es la variación de las comunidades de forma estacional en función de las marcadas fluctuaciones e impredecibilidad de la entrada de agua (Noy-Meir 1973), lo que hace muy complejo el estudio de la ecología de estas zonas pues el problema debe ser abordado en cuanto a la dinámica de las comunidades, tanto si se quiere hacer un inventario de los recursos existentes, como si se pretende analizar las interacciones que se

establecen entre los diferentes componentes del ecosistema (Baker et al. 1982, Turner 1990).

Uno de los grandes mitos acerca de las comunidades naturales de zonas áridas es que éstas son ecosistemas bastante simples tanto en su estructura espacial como temporal (Noy-Meir 1973). Diversos estudios han demostrado que, por el contrario, son inconmensurablemente complejos cuando se les estudia con cierto detalle (McAuliffe 1988, Turner 1990).

Dentro de lo que se ha denominado Valle de Tehuacán en el estado de Puebla se encuentra la subcuenca de Zapotitlán, ubicada en el límite SO del Valle ($18^{\circ} 20' N$ $97^{\circ} 28' O$) (Vite et.al. 1992). Este posee una de las floras más diversas de ecosistemas semiáridos del hemisferio occidental con cerca de 2800 especies de las cuales cerca del 30% son endémicas (Smith 1965; Dávila et al. 1993). Dentro de esta flora se encuentran las cactáceas con 53 especies y sólo 12 de ellas restringidas a ésta reserva (Meyrán 1973). Debido al alto grado de endemismos de la zona y por poseer la mayor diversidad de cactáceas columnares en el mundo, fue decretada Reserva de la Biosfera en 1998 (Diario Oficial de la Federación 1998)

1.3 Cambios de uso de suelo: Presiones de uso

Las diversas actividades humanas han perturbado o modificado los hábitats como por ejemplo, para la extracción de fibras han sido utilizadas a través del tiempo especies como el *Agave spp*, *Yucca spp* y *Beaucarnea spp*, la comercialización de plantas ornamentales como el de *Beaucarnea gracilis*. El pastoreo es otra de las fuertes amenazas a los ecosistemas de la subcuenca de Zapotitlán Salinas. En esta

zona se ha favorecido la cría de ganado caprino, que se alimenta ramoneando los arbustos y pastos que encuentra a su paso, generalmente obteniendo agua a partir del mordisqueo de plantas suculentas como *Echinocactus platyacanthus*; esto trae como consecuencia la destrucción de muchas plantas suculentas de lento crecimiento, además de que el pisoteo de los chivos impide el establecimiento de individuos de diferentes especies de plantas. El cambio de uso de suelo por las actividades humanas ha contribuido gravemente al deterioro, ya que en la región de Zapotitlán el suelo no es adecuado para la agricultura y por lo tanto las tierras han sido abandonadas y deterioradas (Arias et al. 2000). Al restringirse el cambio de uso de suelo dentro del área de la Reserva de la Biosfera, la ganadería bajo pastoreo extensivo y la extracción selectiva de ciertas especies se constituyen como las amenazas más importantes para la conservación de especies.

Por esto es prioritario conservar a las poblaciones y comunidades de este valle, ya que los procesos de desertificación y pérdida de la cubierta vegetal en zonas áridas y semiáridas es más severo en los ecosistemas de Matorral xerófilo que en otros tipos de Matorrales. Las tasas de deforestación reportadas para estos ambientes van de 1 y 1.7 % anual (Aguilar et. al. 2000), lo que muestra que la pérdida de vegetación se puede traducir en una reducción de la productividad y en una mayor pérdida de especies. No obstante lo anterior, la información al respecto es reducida, lo que revela la limitada atención que se le ha brindado al problema en nuestro país.

Los efectos de las perturbaciones no solo dan como resultado un incremento en la heterogeneidad espacial del paisaje expresada en un mosaico interactivo de parches

conformando un sistema metacomunitario (Mc Garigal y McComb 1995; Liebold et al. 2004); sino que también existe una influencia en la estructura de las comunidades vegetales (García 1991). Podría existir variabilidad en la diversidad florística al interior de los parches (comunidad / parche), y las características de los parches (dominancia, complejidad, patrón) pueden ser un indicador de esta composición florística y sus cambios en la biodiversidad.

1.4 Escalas y Conservación

Se plantea que para la conservación adecuada de poblaciones y hábitats se requiere del análisis a múltiples escalas, ya que el manejo de los recursos naturales disponibles supone el conocimiento de los aspectos espacial y temporal de éstos, así como también el uso y la conservación de la diversidad biológica (Velásquez et al. 2001), para lo cual se puede hacer uso de las herramientas como los sensores remotos y sistemas de información geográfica (SIG), que facilitan el manejo de la información para el estudio de los recursos naturales (Chuvienco 1990). La percepción remota es una herramienta para el análisis e interpretación de datos en el monitoreo de la vegetación (Colwell 1974; Rouse et al. 1974), numerosas investigaciones demuestran que los métodos de la percepción remota han sido aplicados sobre un número de regiones en el mundo para monitorear cambios en la vegetación, y un gran número de estos trabajos muestran que estos métodos son útiles para el estudio de ecosistemas áridos y semiáridos (Schmidt y Karnieli 2000). El análisis en comunidades de plantas desérticas y su respuesta a cambios de parámetros ecológicos, han permitido la identificación de tipos de vegetación de cobertura

esparcida en el sur de Nuevo México (Peters y Eve 1995; Peters et al. 1997). Para el caso de superficies con cantidades variables de vegetación y suelos desnudos (píxeles mezclados), la extracción de parámetros biofísicos como la fracción de cobertura vegetal f (Price 1992), permite obtener la porción de terreno cubierta con vegetación en superficies heterogéneas. Este es el caso de la Zona semiárida de estudio en esta tesis, donde el tipo de vegetación es un Matorral Xerófilo y la cubierta vegetal es heterogénea, además de presentar suelo desnudo.

La combinación de diferentes niveles y fuentes de información permiten integrar y analizar datos espaciales y estadísticos en un SIG (Burrough 1996). Una característica fundamental, es que trabajan con mapas y el análisis espacial les permite obtener nuevos mapas a partir de una única fuente de datos. Estos son los medios más utilizados para representar los resultados de los análisis efectuados en un SIG.

2 ANTECEDENTES

Los diversos trabajos relacionados con la región semiárida del Valle de Zapotitlán Salinas los podemos agrupar en tres tipos:

Primero, en la descripción de la flora en el área tenemos trabajos como los de Bravo Hollis (1930, 1931, 1956, 1978 y 1991) que han contribuido al conocimiento de las cactáceas de Tehuacán. Miranda, en 1948 describe la vegetación del valle de Tehuacán en sus trabajos realizados sobre la vegetación de la Cuenca Alta del Río Papaloapan. En 1956, Gold y Matuda hacen una relación de las cactáceas de Tehuacán, así como de otras fanerógamas asociadas con ellas. Pero en 1965, Smith da una idea generalizada de la flora y destaca su alto número de endemismo, cerca del 30% de las especies conocidas para esta zona son endémicas. Meyrán en 1973 publica una guía botánica de cactáceas y otras suculentas del valle de Tehuacán.

Segundo, la identificación de los tipos de vegetación para el valle, es un punto importante y ha generado controversias, Rzedowski en 1978, describe el Matorral xerófilo que presenta una gran variación dependiendo del elemento fisonómicamente dominante. En 1982, Zavala Hurtado identifica cuatro unidades de vegetación en el valle de Zapotitlan : Matorral espinoso, Tetechera, Izotal y Cardonal. En el trabajo de Villaseñor, Dávila y Chiang (1990) se mencionan las siguientes unidades de vegetación: Tetechera, Izotales, Cardonales, Quiotillales y diversos tipos de Matorrales espinosos, inermes o parvifolios-esclerófilos. El último trabajo realizado para determinar los tipos de vegetación en el Valle de Zapotitlán es el de Osorio et al. en 1996 donde ellos determinan siete tipos de vegetación: Matorral espinoso con

espinas terminales, Tetechera, Selva baja espinosa perennifolia, Tetechera-Cardonal, Cardonal de *Stenocereus stellatus*, Cardonal de *Cephalocereus columna-trajani* y Selva baja caducifolia.

Como tercer punto está el reconocimiento de su riqueza florística y su alto grado de endemidad que promovieron su declaratoria de reserva de la biosfera a la zona. Los estudios de Villaseñor, Dávila y Chiang (1990) describen al valle en una posición fitogeográfica “estratégica”, donde se observa la participación del componente típicamente tropical y de aquel propio de las zonas áridas más septentrionales, lo que explica la gran riqueza florística encontrada. En 1991, García en su estudio sobre influencia de la dinámica del paisaje en la distribución de las comunidades vegetales en la cuenca del Río Zapotitlán, define cuatro unidades de paisaje que dependen de la dinámica geomorfológica y que influyen significativamente en la distribución de las principales especies de las comunidades vegetales dentro de la cuenca. Dávila et al. en 1993 hacen una revisión taxonómica del resultado de todo el material colectado e indican la presencia de 2703 especies de plantas vasculares en el valle de Tehuacán-Cuicatlán , número equivalente al 1% de la flora mundial, además de poseer un elevado grado de endemismo. En el análisis de la flora, endemismo y diversidad en 1995, Dávila et al. muestra evidencias acerca de la riqueza florística, endemismo y frecuencia de algunas formas dominantes en el área, sugiriendo alrededor de 600 especies potencialmente endémicas del valle, principalmente ligadas a los hábitos arbustivos y arbóreos.

Con base en estos antecedentes, se impulsó la propuesta de la creación de una Reserva en la región de Tehuacán-Cuicatlan, el 13 de agosto de 1996 se declaró como Area Natural Protegida con el carácter de Zona sujeta a Conservación Ecológica al valle de Cuicatlán y el 28 de mayo 1997 Tehuacán-Zapotitlán. Con el compromiso de tener una declaratoria Federal, en 1997 Zavala Hurtado, Vite y Armella coordinaron la elaboración de un programa de desarrollo regional sustentable (PRODERS) de Tehuacán-Cuicatlan para la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y pesca (SEMARNAP). Finalmente, el 18 de septiembre de 1998 la región de Tehuacán-Cuicatlán es decretada como Reserva de la Biósfera (SEMARNAP; Diario Oficial de la Federacion 1998). Asimismo, se realizó el estudio de caracterización y diagnostico del área propuesta como Reserva (Zavala Hurtado y Hernández 1998)

La zona tiene gran importancia biológica por su riqueza de especies y alta tasa de endemismo. También es importante desde el punto de vista socioeconómico y cultural por la existencia de una relevante riqueza étnica que se ha destacado por diferentes maneras de enfrentar los retos de supervivencia en un entorno particularmente hostil para la práctica de actividades agrícolas y ganaderas tradicionales en el centro de México.

Por lo que respecta al conocimiento de la dinámica espacio-temporal del Matorral xerófilo en esta región, no se tienen registros de trabajos publicados al respecto.

El antecedente directo y punto de comparación con este proyecto, es el trabajo que realizó Zavala Hurtado (1980, 1982) sobre la vegetación del valle de Zapotitlán. En

ese estudio el autor registró la abundancia y cobertura de 120 especies vegetales perennes en 30 sitios de muestreo dentro del valle de Zapotitlán. Con esta información exploró las relaciones vegetación-medio ambiente con base en análisis multivariados de clasificación y ordenación.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Contribuir al conocimiento de la dinámica de comunidades vegetales en la subcuenca semiárida del Valle de Zapotitlán Salinas.

3.2 OBJETIVOS PARTICULARES

1. Analizar los patrones de variación espacial de la vegetación del valle de Zapotitlan después de un período de 23 años, a partir de la reconstrucción precisa de la ubicación geográfica de los 30 sitios de muestreo ubicados por Zavala Hurtado en 1980, con base en sus notas de campo.
2. Analizar los patrones espaciales de la vegetación del valle de Zapotitlán para los años de 1980 y 2003.
3. Analizar la estabilidad de las comunidades vegetales del valle de Zapotitlán bajo diferentes escalas de resolución numérica.
4. Analizar patrones espaciales de cobertura vegetal a partir de una imagen de satélite.
5. Definir la distribución espacial de unidades vegetales a partir de la información recopilada en campo y la información cartográfica disponible.

4 HIPÓTESIS

La heterogeneidad medioambiental, las interacciones de los organismos con su medioambiente y el manejo de los recursos generan un mosaico complejo de ensambles (comunidades) con diferentes combinaciones de especies vegetales que se pueden definir a lo largo de gradientes ecológicos explícitos.

Si los factores que generan o mantienen estos patrones, se modifican con el tiempo, provocando cambios estructurales en los ensambles de especies y en los patrones de variación espacial de la vegetación. Entonces estos patrones se verán reflejados en la composición y abundancia absoluta y relativa de las especies.

5 MÉTODOS

5.1. Área de estudio

El área de estudio (Fig. 1) con una superficie aproximada de 413.89 km² y con un rango altitudinal que va de los 1280 a los 2720 m s.n.m., se localiza en el Valle de Zapotitlán, que constituye una subcuenca (cuenca local) y está ubicado en el límite SO del Valle de Tehuacán (18° 11'-18° 25' de latitud Norte, 97° 39'- 97° 22' de longitud Oeste), en el estado de Puebla; en la zona semiárida Poblano-Oaxaqueña, situada en la sombra de lluvia de la Sierra Madre Oriental. (Vite et.al. 1992).

La vegetación corresponde a el Matorral xerófilo descrito por Rzedowski (1978), presenta una gran variación, dependiendo del o los elementos fisonómicamente dominantes; como son las Tetecheras de *Neobuxbaumia tetetzo* (Weber) Backeberg, los izotales de *Yucca periculosa* Baker, o de *Beaucarnea gracilis* Lem, los Cardonales de *Cephalocereus columna-trajani* Weber, los cardonales de *Stenocereus stellatus* (Pfeiffer) Riccobono. También la selva baja espinosa perennifolia donde predomina *Prosopis laevigata* Willd, la selva baja caducifolia donde predominan las familias Caesalpiniaceae, Fabaceae y Mimosaceae y diversos tipos de Matorrales espinosos, inermes o parvifolios-esclerófilos (Zavala-Hurtado 1982, Villaseñor et al. 1990, Osorio et al. 1996).

El clima es cálido y semiárido del tipo BS₀hw" (W)(e)(g) (García 1981), con lluvias en verano y presentándose una canícula bien definida a mitad del período de lluvias; con una precipitación promedio anual de 380-400 mm y una temperatura media anual de 18-22°C (Zavala-Hurtado et al. 1996).

Existe una gran diversidad de afloramientos geológicos y tipos de suelo generalmente someros, pedregosos y halomórficos con diferentes estados de alcalinidad y salinidad, entre los cuales sobresalen los Litosoles calcáreos rocosos y poco profundos que derivan primordialmente de rocas sedimentarias y metamórficas, los Cambisoles cálcicos, Rendzinas, Vertisoles, Regosoles, Fluvisoles cálcicos y los Xerosoles cálcicos derivados de evaporitas. (Zavala-Hurtado 1982, Osorio et al. 1996).

El Valle forma parte de la Cuenca Alta del Papaloapan (Miranda 1948), se encuentra irrigado por el Río Zapotitlán, que junto con el Río Tehuacán forman el Río “El Salado”, uno de los principales afluentes del Papaloapan.

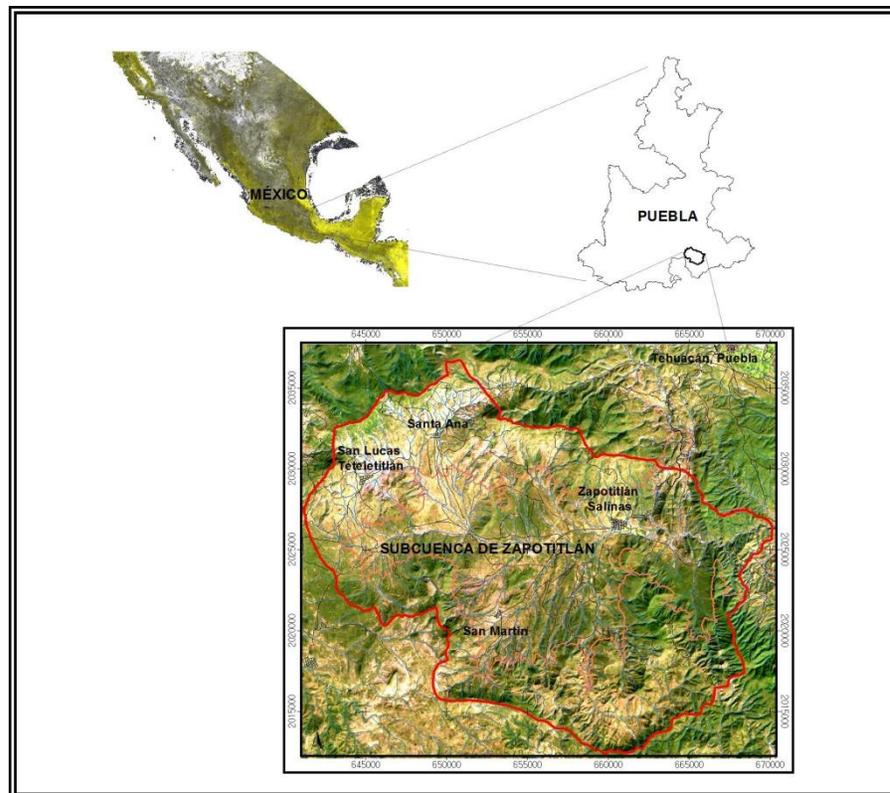


Figura 1. Mapa de la zona de estudio

5.2. Ubicación de los sitios de colecta y obtención de información

En el trabajo de campo preparatorio se localizaron los 30 sitios del muestreo realizado por Zavala-Hurtado en 1980, para hacer la comparación entre los patrones de la vegetación encontrados entonces, con los que actualmente se puedan describir. La reconstrucción del esquema geográfico de los sitios de muestreo se hizo vertiendo la información de las notas de campo referentes a la ubicación de cada sitio en una carta topográfica escala 1:50,000, a partir de lo cual se estimaron las coordenadas (en UTM) de cada uno de los 30 sitios de muestreo.

En cada uno de los sitios se tendió un transecto de 5 x 50 m en sentido perpendicular a la pendiente de la misma manera en que se hizo en 1980. En cada unidad de muestreo se registró la identidad (nombre científico, nombre común o una clave provisional) de todos los individuos de plantas perennes enraizadas dentro del transecto. En los casos en que no se pudo determinar la identidad de algún ejemplar, se le asignó una categoría de forma de vida de acuerdo a la propuesta de Zavala-Hurtado et al. (1996) (ver anexo I). Finalmente, en el caso de organismos con crecimiento colonial, se consideró a cada manchón como un individuo.

Paralelamente al registro de información biológica, en cada punto de muestreo se registró la altitud (m s.n.m.), la pendiente (%) y orientación de la ladera (°), tomándose además muestras de suelo superficial (0-15 cm) para su análisis en laboratorio y poder establecer las comparaciones con los parámetros considerados en 1980:

a) Textura (%), que se define como “la porción relativa de los diferentes suelos separados en un material de suelo” (Buol et al. 1991).

b) pH (potencial hidrógeno) es la actividad de los iones hidrógeno, el pH va de 0 a 14, siendo las disoluciones con pH menores a 7 ácidas y las mayores a 7, básicas.

c) Materia orgánica (MO %) representa una acumulación de las plantas parcialmente destruidas y parcialmente resintetizadas, y de los residuos animales.

d) Nutrientes $\text{mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$: Na (sodio), P (Fósforo), K (Potasio), Ca (calcio) y Mg (Magnesio) son elementos esenciales obtenidos del suelo por las plantas y son utilizados en grandes cantidades.

Las técnicas empleadas para el análisis de suelo fueron las siguientes :

pH: Potenciométrico relación Suelo Agua 1:2 P/V

MO: Walkley y Black

P: Olsen

Na y K: Extraído en acetato de amonio 1.0 N pH 7.0 relación 1:20 y determinado por espectrofotometría de emisión de flama.

Ca y Mg: Extraído en acetato de amonio 1.0 N pH 7.0 relación 1:20 y determinado por espectrofotometría de absorción atómica.

Textura: Hidrómetro de Bouyoucos

5.3. Procesamiento de datos y análisis estadísticos

Los datos de vegetación y medioambiente se vertieron en matrices separadas para su análisis numérico considerando la información recabada en los años 1980 y 2003.

5.3.1. Análisis de Clasificación Multivariada

A partir de las matrices de presencia-ausencia para los dos períodos de muestreo, se realizaron análisis de clasificación multivariada utilizando el método de varianza mínima, que es un procedimiento aglomerativo, politético y jerárquico que tiene como criterio de fusión la conformación de aquella configuración que minimice la varianza intra-grupos (Ward 1963, citado en Zavala Hurtado 1980, Kovach 2004), con base en una matriz de distancias euclidianas al cuadrado generada a partir de la matriz de especies. El propósito es agrupar aquellas observaciones que son más similares dentro de un conglomerado, la tarea fundamental es evaluar la distancia (media) dentro de los conglomerados, de tal forma que a medida que la media aumenta, el conglomerado se hace menos similar, la distancia es medida con la distancia Euclidiana al cuadrado. La formación de conglomerados se da en un procedimiento jerárquico dado que se opera paso a paso para formar un rango completo de soluciones de agrupamiento. Es también un método aglomerativo dado que los conglomerados se forman por la combinación de los conglomerados pre-existentes.

5.3.2 Análisis Discriminante Múltiple

La clasificación de muestras obtenida se evaluó mediante un análisis discriminante múltiple que genera funciones discriminantes que, a su vez, maximizan la separación entre grupos previamente definidos (en este caso, por el análisis de clasificación multivariada). La combinación lineal para el análisis discriminante, también conocida como función discriminante de Fisher, se deriva de la ecuación que adopta la siguiente forma (Hair, et al. 1999):

$$Z_{jk} = a + W_1X_{1K} + W_2X_{2K} + W_3X_{3K} + \dots + W_nX_{nK}$$

Donde:

Z_{jk} = puntaje Z discriminante de la función discriminante j para el objeto k

a = constante

W_1, \dots, W_n = ponderación discriminante para la variable independiente i , donde i va de 1 a n .

X_{1K}, \dots, X_{nK} = variable independiente para i para el objeto k , donde i va de 1 a n .

Esta separación, o discriminación, fue evaluada mediante el criterio de la lambda de Wilks, un estadístico que mide el poder discriminante de un conjunto de variables. Toma los valores de 0 (cero) y 1 (uno) de forma que, tiende a un valor de cero cuando los grupos difieren significativamente y a uno, cuando las diferencias entre grupos no son significativas (Tatsuoka 1970).

5.3.3 Análisis Canónico de Correspondencias

Los patrones espaciales y temporales de la vegetación a lo largo de gradientes explícitos se analizaron utilizando Análisis Canónico de Correspondencias que es un método multivariado de ordenación directa que analiza simultáneamente a la matriz de especies y variables medioambientales. Se realizó siguiendo el promediamento recíproco del análisis de correspondencias (Hill 1973). Sin embargo, en cada ciclo del proceso de promediamento, se realiza una regresión múltiple entre los puntajes de las muestras y las variables medioambientales. Se calculan nuevos puntajes de las muestras con base en esta regresión y el proceso se repite hasta que los puntajes se estabilizan. El resultado es que los ejes de la ordenación final, más que reflejar solamente la dimensionalidad de máxima variabilidad en los datos de presencia de las especies, son restringidos a ser combinaciones lineales entre las variables medioambientales y los datos de las especies, de tal manera que las dos matrices se relacionan de manera directa (Ter Braak 1986, Kovach 2004). En este análisis se consideró a las matrices de ambas fechas juntas y separadas.

Las variables ambientales analizadas fueron:

- i) Propiedades del suelo: Textura (%), pH, Materia orgánica (MO, %), Na (sodio) mg.Kg^{-1} , P (Fósforo) mg.Kg^{-1} , K (Potasio) mg.Kg^{-1} , Ca (calcio) mg.Kg^{-1} y Mg (Magnesio) mg.Kg^{-1}
- ii) Altitud (msnm)

iii) Pendiente (%)

iv) Orientación de ladera (grados): NW, SW, NE y SE.

5.3.4. Cambios en la estructura de la vegetación

Se evaluaron los cambios en la estructura de la vegetación en 26 muestras utilizando tres niveles jerárquicos de escala analítica (Rahel 1990) que se describen a continuación:

5.3.4.1 Análisis al nivel de abundancia absoluta de las especies.

Se usó un análisis de tablas de contingencia de $r \times c$, llamada prueba de independencia (prueba de G de independencia), donde r es el número de especies y c el número de períodos de tiempo comparados (en este caso dos). Se contrastó la hipótesis nula de que las abundancias absolutas de las especies son independientes del tiempo de muestreo (Sokal y Rohlf 2001, Rahel 1990).

5.3.4.2 Análisis al nivel de jerarquías de abundancia.

Las especies se ordenaron de acuerdo a su abundancia relativa en cada muestra para determinar si esta jerarquía permanece estable en el tiempo, aún si fluctúan las abundancias absolutas. Para comparar la similitud entre las jerarquías de abundancia a través del tiempo, se utilizó el coeficiente de concordancia de Kendall (**W**), una prueba no paramétrica de correlación multimuestral. Los valores de **W** varían entre cero (las jerarquías de abundancia son totalmente diferentes entre los tiempos comparados) y uno (cuando hay una concordancia completa entre las jerarquías de abundancia comparadas). La

hipótesis nula es que las jerarquías de abundancia no están correlacionadas a través del tiempo (Sokal y Rohlf 2001, Zar 1999, Rahel 1990).

Coeficiente de concordancia de Kendall (**W**)

$$\mathbf{W} = \frac{\chi^2}{K(n-1)}$$

$$\text{Donde } \chi^2 = \frac{12}{K n (n+1)} \sum R^2 - 3K(n+1)$$

K = el número de variables

n = el número de mediciones por variable

R = suma del rango

5.3.4.3 Análisis al nivel de presencia-ausencia de las especies.

Para evaluar la similitud florística de los sitios de muestreo de 1980 y 2003 se aplicó el coeficiente de similitud de Sørensen (S_s). Este coeficiente es igual a 1 cuando los sitios comparados comparten las mismas especies, y por el contrario toma el valor de 0 si éstos no presentan ninguna especie en común. Para ello requerimos hacer una matriz de datos binarios (presencia / ausencia) de las especies encontradas en los sitios de muestreo. La matriz esta compuesta por datos acotados de 0 (cero) a 1 (uno).

Coeficiente de similitud de Sørensen (Krebs 1999)

$$S_s = \frac{2a}{2a + b + c}$$

Donde S_s = coeficiente de similitud de Sørensen

a = número de especies presentes en ambas muestras.

b= número de especies presentes en la muestra de 2003, pero no en la muestra de 1980.

c= número de especies presentes en la muestra de 1980, pero no en la muestra de 2003.

5.3.5. Distribución espacial de unidades vegetales.

El conocimiento sobre la distribución espacial de las comunidades vegetales es necesario para su conservación y manejo adecuado. El método para determinar la distribución espacial de las comunidades vegetales consistió de tres partes: estimación de variables biofísicas mediante teledetección (imagen de satélite Landsat 7 ETM+), generación de cartografía temática y la clasificación las unidades de vegetación para el área.

5.3.5.1 Fracción de cobertura vegetal.

Las variables biofísicas son medidas que permiten el análisis de la vegetación a partir de sus propiedades biológicas y físicas, la extracción de parámetros biofísicos como la fracción de cobertura vegetal (f) permitió obtener la porción de terreno cubierto con vegetación en superficies heterogéneas mediante el procesamiento de la imagen de satélite Landsat 7 ETM+ de diciembre 1999, con un tamaño de píxel de 30m. El diagrama de flujo que se presenta en la figura 2 resume el procedimiento llevado a cabo.

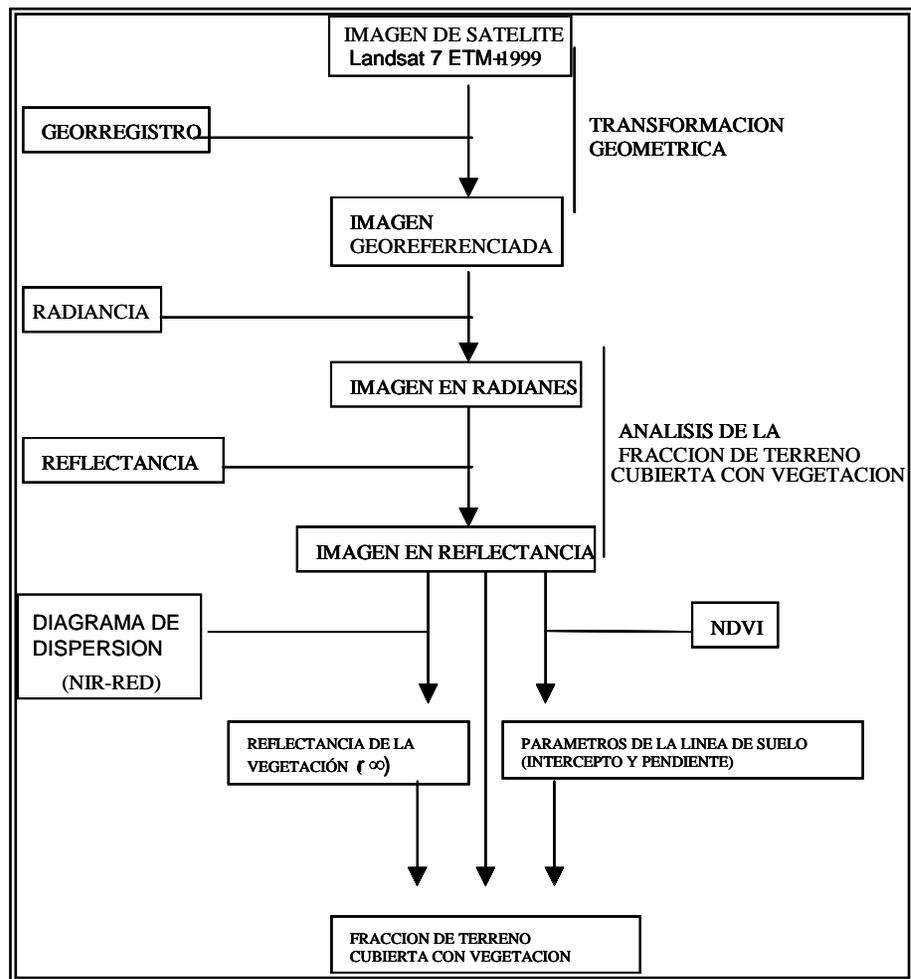


Figura 2. Diagrama de flujo para obtener la fracción de terreno cubierta con vegetación.

El primer paso fue la transformación geométrica de la imagen de satélite, posteriormente se hizo un proceso de conversión de los ND (niveles digitales), a valores de radiancia (NASA 1998) a partir de los cuales se calculan los valores de reflectancia (Chuvieco 2002). El método utilizado para obtener la fracción de cobertura vegetal, f , se describe a continuación.

- a) La información se sustrajo del factor de reflectancia de la banda del espectro visible (R_1 : red) y del infrarrojo cercano (R_2 : nir). Los

parámetros de reflectancia de la vegetación ($r_{\infty 1}$ y $r_{\infty 2}$) se obtuvieron a partir del diagrama de dispersión de la porción visible e infrarroja del espectro electromagnético.

A partir del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI, *Normalized Difference Vegetation Index*) (Rouse et al. 1974, Deering et al. 1975).

$$NDVI = \frac{R_2 - R_1}{R_2 + R_1}$$

Se extrajeron los valores que representan a las áreas sin vegetación (valores entre -1 y 0), y con ellos se hizo un análisis de regresión para obtener los parámetros de la línea de suelo: pendiente (**a**) e intercepto (**b**) (Price 1992).

$$r_{s2} = \mathbf{a} * r_{s1} + \mathbf{b}$$

$$r_{s1} = Red$$

$$r_{s2} = Nir$$

- b) Se estimó la fracción de cobertura vegetal (**f**), a partir de la ecuación propuesta por Price (1992). El valor de **f** tiende a 0.0 sobre la línea de suelo y a 1.0 para las reflectancias del visible y el infrarrojo de $r_{\infty 1}$, $r_{\infty 2}$, los datos fueron manejados en porcentajes de reflectancia.

$$f = \frac{R_2 - a R_1 - b}{r_{\infty 2} - a r_{\infty 1} - b}$$

Donde

R_1 = etmb03 (rojo),

R_2 = etmb04 (infrarrojo cercano),

$r_{\infty 1}$ = reflectancia de la vegetación en el rojo

$r_{\infty 2}$ = reflectancia de la vegetación en el infrarrojo cercano,

a = pendiente de la línea de suelo y

b = intercepto de la línea de suelo.

5.3.5.2 Cartografía temática

La información cartográfica se generó a partir del modelo digital de elevación (MDE) (fig. 3). Los modelos digitales de elevación (MDE) describen la altimetría del terreno mediante un conjunto de datos acotados y se pueden generar interpolando un mapa de curvas de nivel. A partir de los MDE se pueden construir otros modelos derivados muy sencillos que reflejan características morfológicas simples (nuevas variables topográficas) (Felicísimo 1994).

Apoyados en el modelo digital de elevación se realizaron clasificaciones por pendientes, orientación de laderas y altitudes.

Los mapas de pendientes son de gran importancia, ya que fenómenos como la erosión y la estabilidad de los terrenos dependen, en gran medida, de la pendiente del terreno. El conocimiento de la orientación del terreno es importante para aspectos como el establecimiento de especies vegetales.

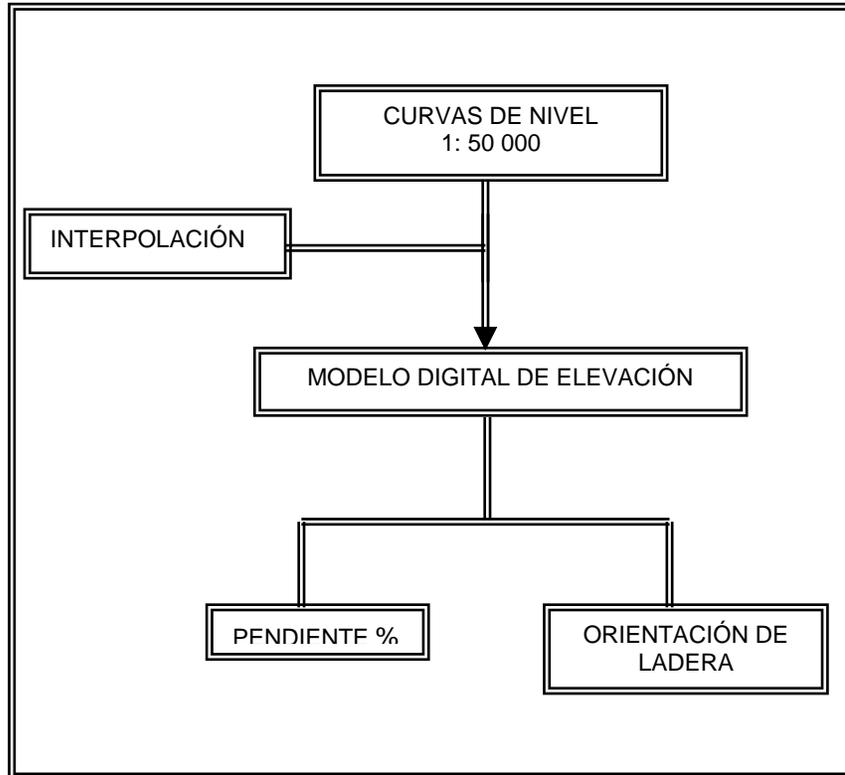


Figura 3. Diagrama de flujo para obtener el mapa de pendientes y el mapa de orientación de ladera.

5.3.5.3 Esquema de clasificación de las unidades de vegetación

El esquema de clasificación de las unidades de vegetación se obtuvo a partir de variables ambientales expresadas como mapas temáticos: altitud, orientación de ladera, pendiente, fracción de terreno cubierta con vegetación y variables cartográficas (latitud y longitud) (Anexo II).

El primer paso consistió en obtener información de variables ambientales para cada sitio de muestreo y de una muestra de puntos seleccionados al azar dentro de los límites de la subcuenca de Zapotitlán. Con esta información se realizó el análisis de los datos espaciales y tabulados estadísticos (Conglomerados, Discriminantes y Correlación Canónica).

Posteriormente se procedió a la elaboración de un modelo cartográfico el cual se expresó a partir de las funciones obtenidas del análisis discriminante. A cada uno de los mapas temáticos se le asignó el coeficiente de ponderación del discriminante **W**, para dar coordenadas en el espacio discriminante con las dos primeras funciones:

$$Z_{jk} = a + W_1(\text{Pendiente})_{1K} + W_2(\text{Altitud})_{2K} + W_3(\text{orientación NE})_{3K} + W_4(\text{orientación SE})_{4K} \\ + W_5(\text{Orientación SW})_{5K} + W_6(\text{Orientación NW})_{6K} + W_7(\text{Longitud (x)})_{7K} + W_8(\text{Latitud (y)})_{8K} + W_9(\text{Fracción de terreno cubierto con vegetación})_{9K}$$

Se calculó la distancia de cada punto a los centroides de cada grupo discriminante (unidad vegetal) que se formaron con el análisis:

$$Z_{cu} = \sqrt{((N_B - N_A)^2 + (Z_B - Z_A)^2)}$$

N_A y N_B Es el valor del punto y del centroide para la primera función discriminante

Z_A y Z_B Es el valor del punto y del centroide para la segunda función discriminante

Finalmente se estableció una regla de decisión para asignar cada píxel (punto) a las diferentes unidades de vegetación a la que pertenece, para lo cual se utilizó una función lógica. La regla de decisión consistió en establecer la distancia mínima del punto en cuestión a los centroides de cada grupo discriminante propuesto (unidades de vegetación), siendo el esquema general el siguiente:

Si ($\text{Distancia}_1 < \text{Distancia}_2$, Si ($\text{Distancia}_1 < \text{Distancia}_n$, 1, n), Si ($\text{Distancia}_2 < \text{Distancia}_n$, 2, n))

Distancia_1 , Distancia_2 y Distancia_n Son las distancias del punto en cuestión a los centroides de cada grupo.

El resultado es un mapa que muestra la distribución espacial de las unidades vegetales.

5.3.5.3.1 Validación del mapa de distribución de unidades vegetales

La validación del mapa de distribución de unidades vegetales se realizó, comparando la información del mapa con respecto a la información obtenida de puntos de control que representan las condiciones del terreno en cuanto a unidades vegetales. Esta comparación se hizo empleando una matriz de confusión (realidad-resultados) con la cual se obtiene un valor numérico sobre la exactitud de la clasificación obtenida.

La matriz de confusión se construyó a partir de las categorías del mapa clasificado de acuerdo a las unidades de vegetación comparándolas con las mismas categorías pero que provienen de puntos de referencia. Estos puntos de referencia se obtuvieron a partir del trabajo de campo.

En la “matriz de confusión” se recogen los conflictos que presentan las categorías. Las columnas de la matriz que indican las clases de referencia, y las filas las categorías asignadas de acuerdo con la clasificación. La relación entre el número de puntos correctamente asignados y el total, expresa la fiabilidad global del mapa. Los residuales en columnas indican tipos de cubierta real que no se incluyen en el mapa, mientras los residuales en filas implican cubiertas del mapa que no se ajustan a la realidad, representan los errores de omisión y comisión, respectivamente (Chuvieco 2002).

6 RESULTADOS

6.1 Sitios de colecta y colecta de información.

6.1.1 Ubicación geográfica de los sitios de muestreo

Con base en los recorridos de campo y estimando las coordenadas de cada uno de los sitios con las notas de campo, se elaboró la reconstrucción del esquema geográfico de los 30 sitios de muestreo realizados por Zavala en 1980 (Fig. 4) para hacer la comparación entre los patrones de la vegetación encontrados entonces con los que actualmente se pueden describir.

Para el presente estudio sólo se consideraron 27 sitios (quedando fuera los sitios s4, s28 y s29 a los que no se pudo llegar en 2003), se encontró que el sitio número cinco fue transformado en área agrícola, quedando entonces 27 sitios para 1980 y 26 sitios para 2003 (Fig. 4).

6.1. 2 Composición de la Vegetación e información medioambiental

En los sitios de muestreo se registraron 104 especies de plantas, pertenecientes a 31 familias y 64 géneros. Las familias más ampliamente representadas son Cactaceae con 12 géneros y Leguminosae con 9 géneros.

Se registraron 86 especies para 1980 y 100 especies para 2003, encontrando 18 especies más de las registradas en 1980; seis especies no fueron identificadas, cinco se agruparon en formas de vida, 12 se identificaron solamente hasta género y 81 hasta nivel de especie. El listado florístico se muestra en el anexo II.

Las variables cuantificadas en los sitios de muestreo fueron el número de individuos para cada especie registrada, además las variables ambientales altitud, pendiente y orientación de ladera, así como características del suelo, que se presentan en el anexo III .



Figura 4. Ubicación de los sitios de muestreo, 1980 y 2003.

6.2 Análisis de clasificación multivariada

A partir de la matriz de presencia-ausencia para los dos períodos de muestreo, se obtuvieron para cada fecha los siguientes dendrogramas:

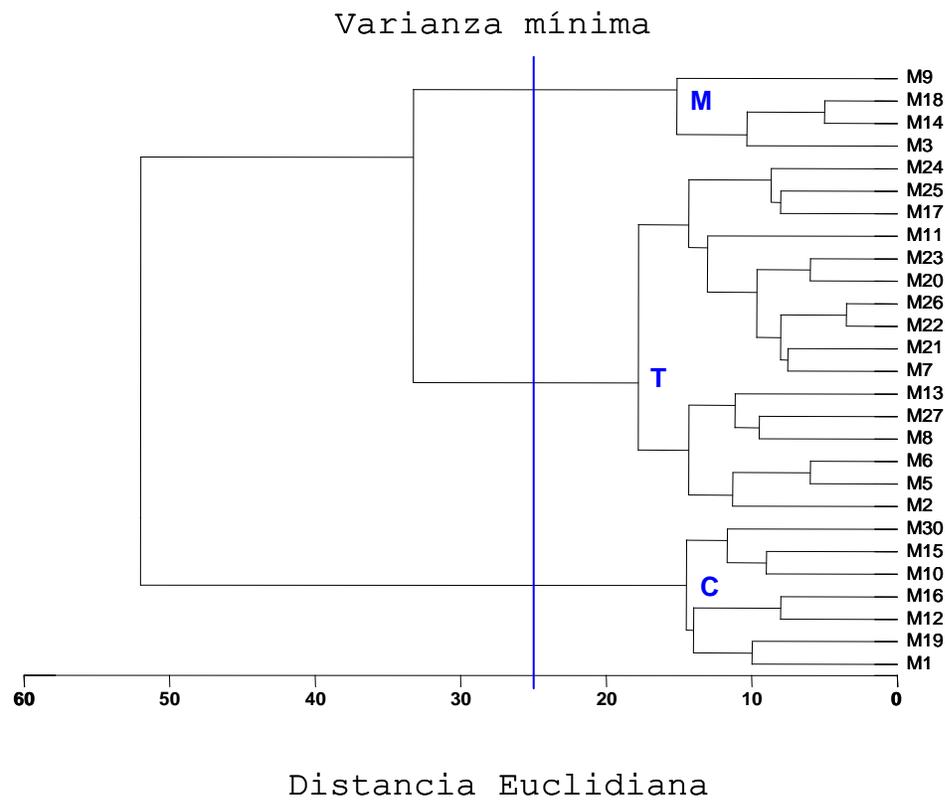


Figura 5 . Dendrograma del análisis de conglomerados de la clasificación de 27 sitios de muestreo para 1980 en el valle de Zapotitlán, en tres grupos. M (Matorral), T (Tetechera) y C (Cardonal).

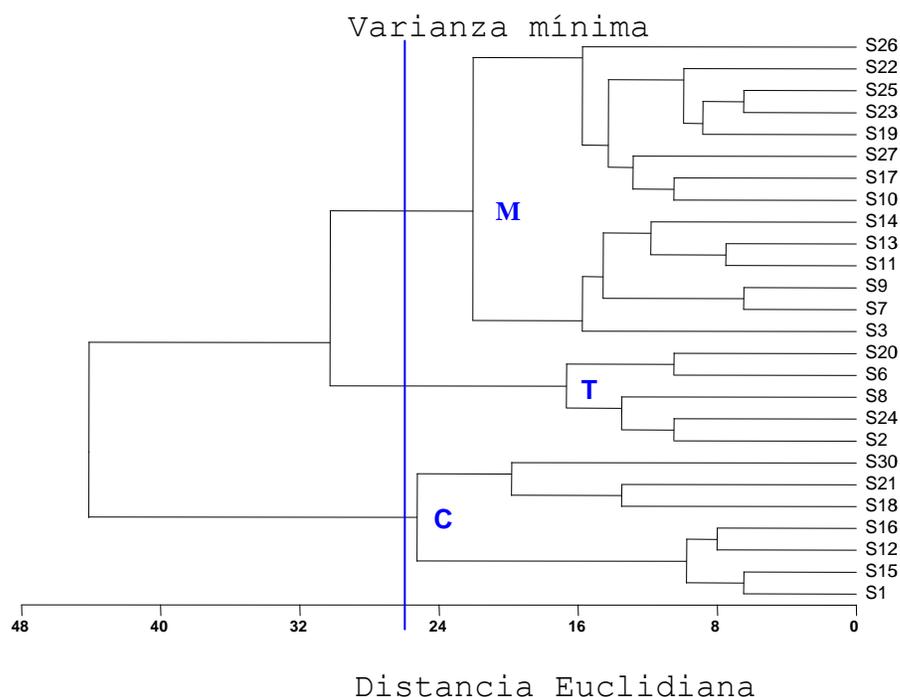


Figura 6 . Dendrograma del análisis de conglomerados de la clasificación de 26 sitios de muestreo para 2003 en el valle de Zapotitlán, en tres grupos. M (Matorral), T (Tetechera) y C (Cardonal).

Los análisis de conglomerados (*Figs. 5 y 6*) definen la formación de tres grupos (con el criterio de corte dado por la línea perpendicular al eje de la distancia euclidiana (nivel al que se hizo el corte, 25), nominados en función de los elementos vegetales dominantes en los sitios de muestreo para cada fecha. Así tenemos tres unidades de vegetación: Cardonal (C), Tetechera (T) y Matorral (M) que están encuadradas dentro del tipo de vegetación denominado Matorral xerófilo por Rzedowski (1978). En el dendrograma de 1980 (*Fig.5*) se muestra los 27 sitios muestreados, 7 pertenecen al grupo denominado Cardonal, a la Tetechera 16 y al Matorral sólo 4. En la *Fig.6* de los 26 sitios muestreados al Cardonal pertenecen 7 sitios de muestreo, la Tetechera

tiene 5 sitios agrupados, pero el sitio 6 (S6) no corresponde con la clasificación fisonómica, aunque esté clasificado como Tetechera, ya que los elementos vegetales presentes en el sitio pertenecen al grupo denominado Matorral, por lo que se agrupa en éste; entonces la Tetechera queda con 4 sitios y el Matorral con 15 sitios. Se observa que mientras el Cardonal no tiene cambios importantes en las dos muestras (1980 y 2003), el Matorral aumentó su extensión espacial a expensas de la Tetechera (Figs 5 y 6).

6.3 Análisis de discriminante múltiple

Los resultados se resumen en las siguientes gráficas:

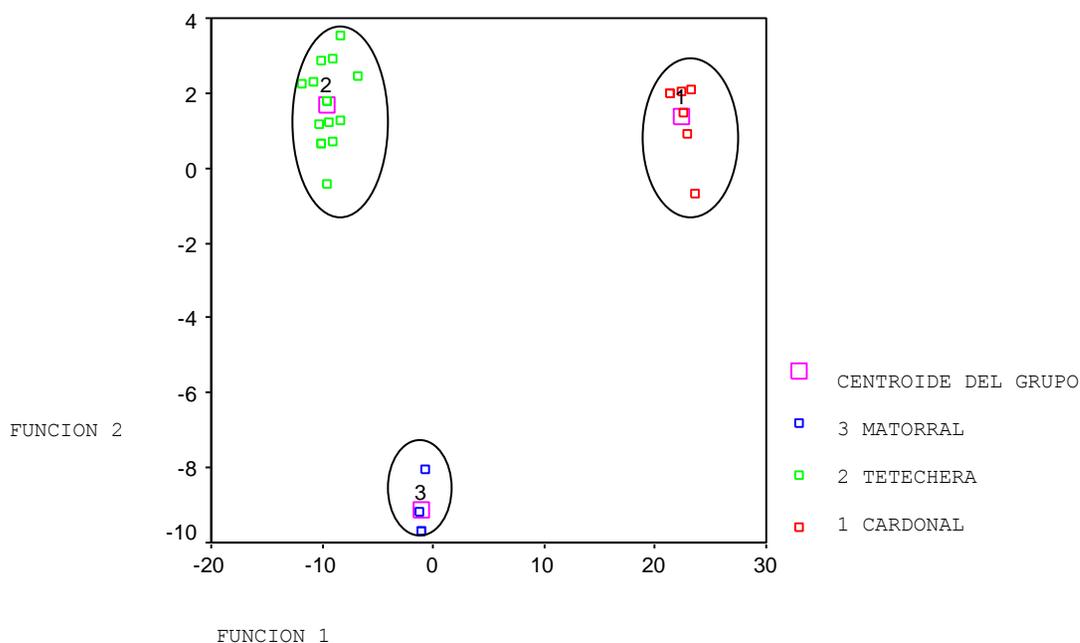


Figura 7. Representación gráfica de los tres grupos obtenidos para 1980 en un espacio discriminante definido por las dos primeras funciones, el porcentaje de variación explicado por la primera función es de 92.7% y de 7.3% por la segunda función. La discriminación fue evaluada por $\lambda_{\text{Wilks}} = 0.057$, $p < 0.044$

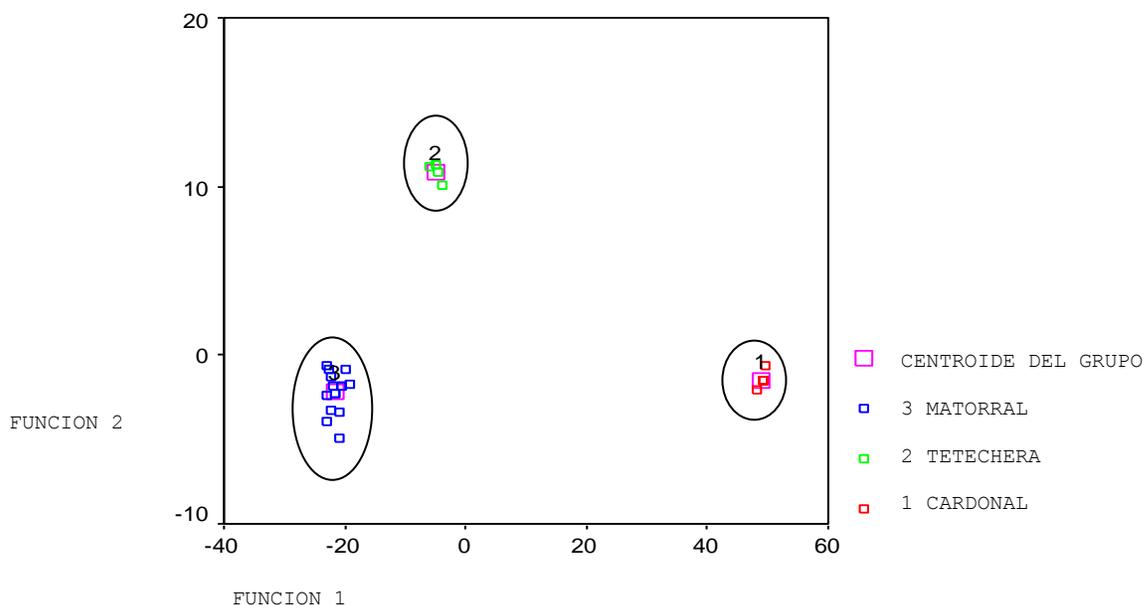


Figura 8. Representación gráfica de los tres grupos obtenidos para 2003 en un espacio discriminante definido por las dos primeras funciones, el porcentaje de variación explicado por la primera función es de 97.7% y de 2.3% por la segunda función. La discriminación fue evaluada por $\lambda_{\text{wilks}} = 0.039$, $p < 0.015$

En el análisis de discriminación múltiple (*Figs. 7 y 8*) se definen claramente los tres grupos para las dos muestras (1980 y 2003) en donde las dos primeras funciones discriminantes explican el 100% de la separación total entre los dos grupos.

Se puede observar que los tres grupos se diferencian claramente uno del otro sin haber sobreposición entre ellos. Esta separación fue evaluada por la lambda de Wilks que para 1980 fue de 0.057 ($p < 0.044$) y para 2003 fue de 0.039 ($p < 0.015$), estos valores nos muestran que los grupos difieren significativamente, lo que indica que todos los casos estuvieron bien clasificados.

Por lo tanto tenemos tres unidades de vegetación correspondientes a cada grupo:

Grupo 1: Cardonal (C, *foto 1*), Grupo 2: Tetechera (T, *foto 2*) y el Grupo 3: Matorral (M, *foto 3*).

Cardonal (C): Este grupo comprende 7 sitios para 1980 y 7 sitios para 2003; caracterizado por la presencia de la cactácea columnar no ramificada *Cephalocereus columna-trajani* (cardón), que se encuentra asociada a *Mammillaria haageana* (biznaga de chilitos), *Viguiera dentata* (chimalacate), *Hechita aff. podantha* (lechuguilla), *Pedilantus aphyllus* (zapatito), *Mascagnia seleriana*, *Aeschynomene compacta*, *Mimosa luisiana* (cumito), *Caesalpinia melanadenia*, *Echinocactus platyacanthus* (asiento de suegra), *Echinopteryx eglandulosa*, *Ruellia sp.*, *Agave kerchovei*, *Lippia graveolens* (orégano), *Acacia constricta* (guajillo), *Bursera sp.* (cuajote), *Castela tortuosa* (chaparro amargoso), *Coryphanta pallida*, *Jatropha dioica* (sangre de drago), *Dalea sp.* (guaje de ratón) e *Ipomoea arborescens* (cazahuate).



Foto 1. Unidad Vegetal denominada Cardonal

Tetechera (T) : Este grupo comprende 16 sitios de muestreo para 1980, y 4 sitios para 2003; las Tetecheras están constituidas principalmente por agrupaciones de individuos de cactáceas columnares del género *Neobuxbaumia*, en este caso *N. tetetzo* (tetecho) se presenta como la especie dominante e indicadora de esta unidad fisonómica y otras cactáceas columnares ramificadas que emergen de una carpeta arbustiva caracterizada por *Cordia curassavica* (barredor), *Mimosa luisana* (cumito), *Aeschynomene compacta*, *Dalea sp.*(guaje ratón), *Lippia graveolens* (orégano), *Ferocactus latispinus* (ganchuda), *Mammillaria haageana* (biznaga de chilitos), *Mammillaria carnea* (chichi de ratón), *Coryphanta pallida*, *Ruellia sp.*, *Echinopteryx eglandulosa*, *Mascagnia seleriana*, *Ipomoea arborescens* (cazahuate), *Prosopis laevigata* (mezquite), *Celtis pallida*, *Plumeria rubra*, *Acacia constricta* (guajillo), *Viguiera dentata* (chimalacate), no identificada I (Compositae), *Opuntia pilifera* (nopal crinado), *Lantana camara* (cinco negritos) y *Hechita aff. podantha*.

(lechuguilla).



Foto 2. Unidad Vegetal denominada Tetechera.

Matorral (M): Este grupo comprende 4 sitios de muestreo para 1980 y 15 para el 2003, todos ellos considerados Matorrales en la clasificación fisonómica. Está caracterizado por una carpeta de arbustos y árboles bajos (principalmente por leguminosas) entre los cuales se mezclan agaves, cactus no muy grandes y muy pocos árboles bajos con ramas tortuosas, siendo las especies que caracterizan a este grupo: *Cercidium praecox* (palo verde), *Viguiera dentata* (chimalacate), *Coryphanta pallida*, *Prosopis laevigata* (mezquite), *Acacia constricta* (guajillo), *Castela tortuosa* (chaparro amargoso), *Dalea sp.* (guaje de ratón), *Mammillaria carnea* (chichi de ratón), *Gymnosperma glutinosa* (popotillo), *Opuntia pilifera* (nopal crinado), *Agave marmorata* (pitzomel), *Mammillaria haageana* (biznaga de chilitos), *Myrtillocactus geometrizzans* (garambullo), *Caesalpinia melanadenia*, *Cordia curassavica* (barredor), *Bursera sp.* (cuajote), *Ferocactus latispinus* (ganchuda), *Mimosa luisiana* (cumito) y *Lemaireocereus hollianus* (baboso).

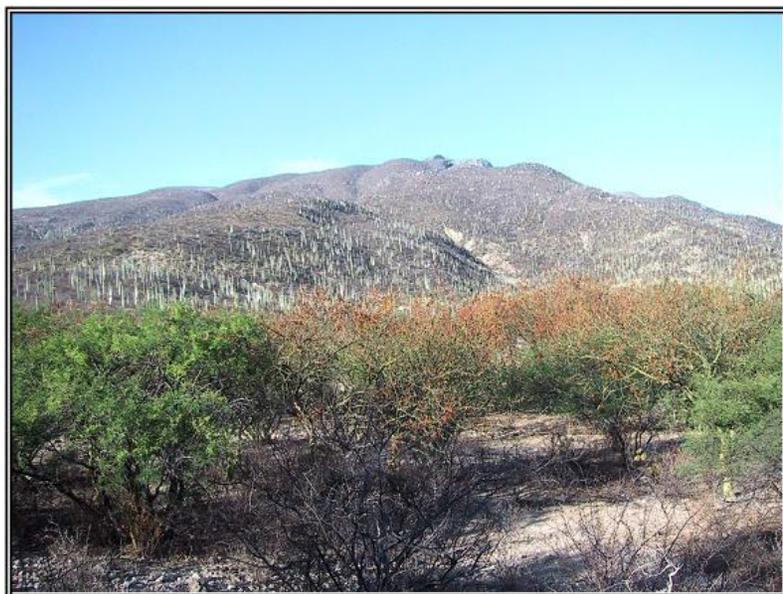


Foto 3.Unidad vegetal denominada Matorral

6.4 Análisis de correspondencia canónico

Los patrones espaciales y temporales de la vegetación a lo largo de gradientes explícitos se determinaron mediante el Análisis Canónico de Correspondencia (CCA, por sus siglas en inglés). El resultado es que los ejes de la ordenación final, más que reflejar solamente la dimensionalidad de máxima variabilidad en los datos de presencia de las especies, son restringidos a ser combinaciones lineales entre las variables medioambientales y los datos de las especies, de tal manera que las dos matrices se relacionan de manera directa.

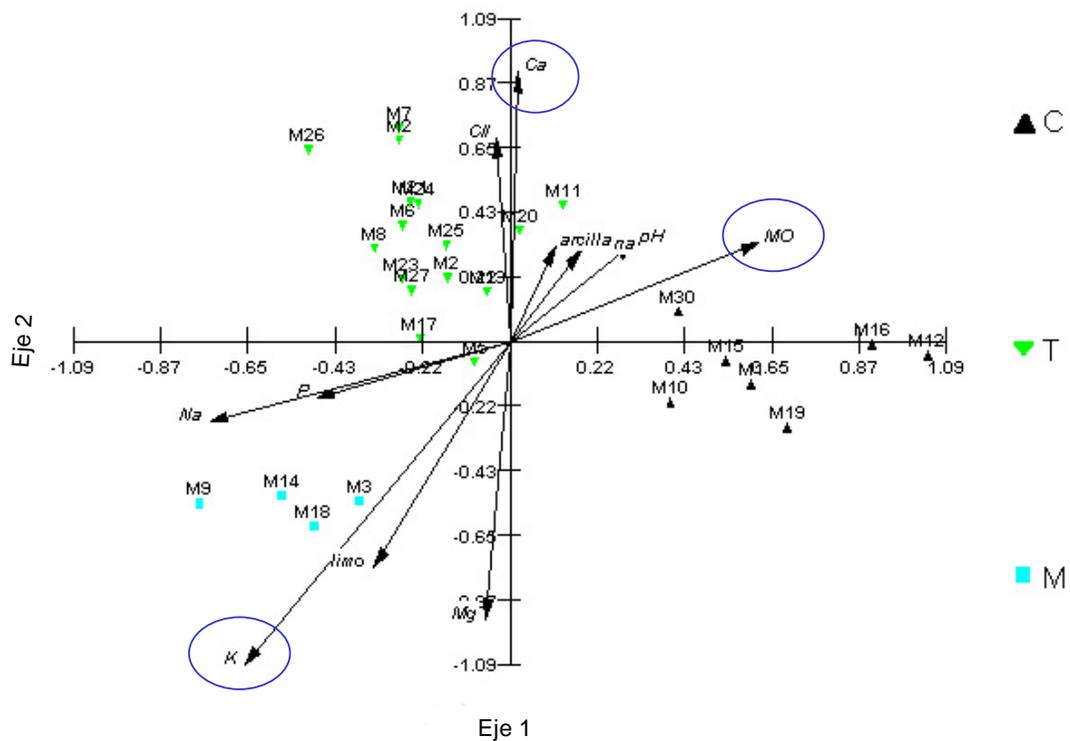


Figura 9. Análisis de correspondencia canónico: Gráfica de las tres unidades vegetales C (Cardonal), T (Tetechera) y M (Matorral) formadas para 1980 en el espacio de ordenación, con respecto a las 11 variables edáficas (líneas): Calcio (Ca), Potasio (K), Sodio (Na), Fosforo (P), Magnesio (Mg), Capacidad de Intercambio Cationico (CII), Materia Orgánica (MO), Arcilla, Arena, limo y pH .

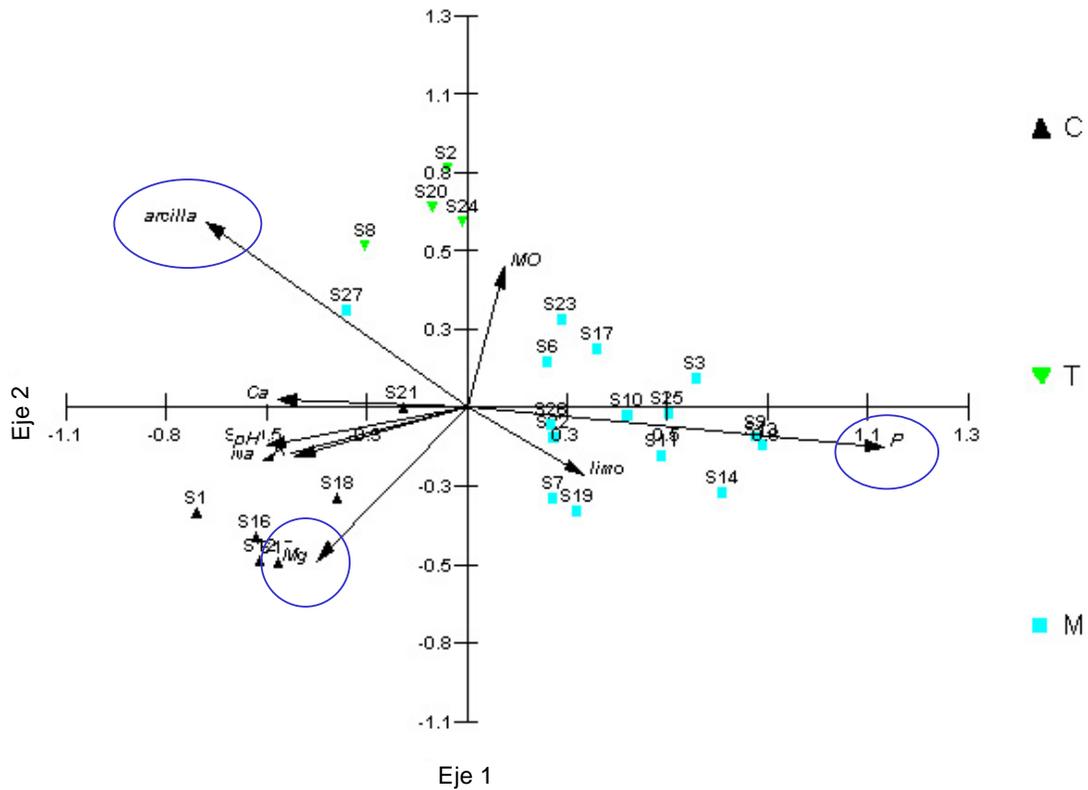


Figura 10. Análisis de correspondencia canónica: Gráfica de las tres unidades vegetales C (Cardonal), T (Tetechera) y M (Matorral) formadas para 2003 en el espacio de ordenación, con respecto a las 11 variables edáficas (líneas): Calcio (Ca), Potasio (K), Sodio (Na), Fósforo (P), Magnesio (Mg), Capacidad de Intercambio Cationico (CII), Materia Orgánica (MO), Arcilla, Arena, limo y pH .

El análisis de correspondencia canónica muestra la ordenación de las unidades vegetales sobre los ejes 1 y 2 del espacio de ordenación y la dirección e importancia relativa de la mayor influencia de las variables edáficas que está dado por el tamaño y la dirección del vector. En la Fig. 9 las variables edáficas más importantes de acuerdo al CCA son el Potasio, Calcio y Materia orgánica, de las tres variables el potasio (K) es la más importante y tiene influencia sobre la distribución de las unidades vegetales ya que para este caso el Matorral se agrupa en suelos con altas concentraciones de K, aunque el sodio, magnesio y limo también están influyendo; el Cardonal tiende a agruparse en concentraciones más altas de MO y la Tetechera se

agrupa en valores relativamente altos de Ca y CII. En 2003 (*Fig.b*) las variables de mayor importancia son el fósforo (P), la arcilla y el magnesio (Mg). La variable de mayor importancia es el P y el Matorral tiende a agruparse en suelos con altas concentraciones de este elemento y aunado al limo; la Tetechera se agrupa en concentraciones altas de arcilla y MO, el Cardonal se agrupa en concentraciones altas de Mg.

Considerando que variables geomorfológicas como la Orientación de Ladera (Suroeste, SW, Sureste, SE, Noroeste, NW, Noreste, NE), Pendiente (%) y Altitud tienen también un efecto sobre la estructura de la vegetación, se realizaron CCA adicionales incluyéndolas (*Figs. 11 y 12*). En la *Fig. 11* las variables ambientales con mayor influencia son la altitud y la pendiente, se puede observar que la Tetechera y el Cardonal tienden a agruparse en pendientes fuertes y a mayores altitudes, en cambio el Matorral se encuentra agrupado a menores altitudes y a pendientes suaves, aunque se ve influencia por la variable de orientación Noroeste (NW). En la *Fig. 12* las variables ambientales más importantes son la altitud y la orientación, la variable de mayor influencia para la agrupación de unidades vegetales es la altitud, se puede observar que el Cardonal tiende a agruparse a mayores altitudes y a orientaciones SE, la Tetechera se agrupa a altitudes medias pero también se encuentra influenciada por la orientación NW, el Matorral se agrupa a bajas altitudes.

El análisis (CCA) para ambas fechas, revelo que entre las variables cuantificadas, la altitud es la más importante y que las unidades vegetales se encontrarían distribuidas, de cierto modo, en un gradiente altitudinal.

6.5 Cambios en la estructura de la vegetación

Se utilizaron tres niveles de escala analítica para evaluar los cambios en la estructura de la vegetación: abundancias absolutas, jerarquías de abundancias y presencia o ausencia de especies, la siguiente tabla muestra los resultados obtenidos:

	ABUNDANCIAS ABSOLUTAS	JERARQUIA DE ABUNDANCIAS	PRESENCIA O AUSENCIA
TOTAL (PERIODOS 1980 Y 2003)	G=4260.3784 P<0.00001	W=0.4638 P<0.00001	S=0.8817
CARDONAL	G=2041.5371 P<0.00001	W=0.3641 P<0.00014	S=0.7017
TETECHERA	G=3996.83704 P<0.00001	W=0.1923 P<0.0505	S=0.6603
MATORRAL	G=2041.5371 P<0.00001	W=0.4380 P<0.00001	S=0.6238

Tabla 1. Análisis de la estabilidad de la vegetación en tres escalas analíticas, abundancia absoluta, jerarquía de especies y presencia o ausencia. Para cada unidad vegetal y para el total en ambas fechas.

En el análisis de abundancias absolutas se contrasta la hipótesis nula de que las abundancias absolutas de las especies son independientes del tiempo de muestreo, los valores de la prueba de G de independencia son significativos ($p < 0.00001$) para los cuatro casos (ver tabla 1) por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, lo que indica que las abundancias absolutas de las especies no son similares en los dos tiempos, por lo tanto están cambiando. Las tres unidades de vegetación resultaron ser inestables a nivel de abundancias absolutas.

Por otro lado, el análisis de jerarquías de abundancia evalúa si esta jerarquía permanece estable en el tiempo, aún si fluctúan las abundancias absolutas. Aquí se contrastó la hipótesis nula de que las jerarquías de abundancia no están correlacionadas a través del tiempo, y como el coeficiente de concordancia de Kendall (**W**) fue significativo para todos los casos, se rechaza la hipótesis nula. Esto es, que las tres unidades de vegetación son estables, aunque la Tetechera resultó marginalmente inestable en su jerarquía de abundancias con una $p < 0.0505$ (tabla 1)

En la evaluación de la similitud florística, en el análisis de datos de presencia-ausencia, el coeficiente de similitud de Sørensen (SOREN) para el total tuvo un valor de 0.88 muy cercano a uno (valores de 0.60 a 0.90 tienen una mayor similitud, (Gauch 1982), esto es, que los sitios comparados de 1980 y 2003 comparten la mayoría de las especies. Cuando se hace el análisis para cada unidad vegetal tenemos que el valor para el Cardonal es de 0.70 que se puede también considerar cercano a uno, para Tetechera y Matorral el valor es 0.66 y 0.62 respectivamente lo que quiere decir que el número de especies compartidas es menor, aunque de acuerdo al criterio de Gauch (1982), se mantiene un grado de semejanza superior al esperado por azar. Así, se puede decir que las tres unidades de vegetación analizadas son estables en su composición de especies luego de 23 años.

6.6 Fracción de terreno cubierta con vegetación

Los parámetros de la ecuación de la fracción de terreno cubierta con vegetación (f) fueron obtenidos con los valores de reflectancia espectral terrestre del intervalo del espectro electromagnético del rojo visible y del infrarrojo cercano (bandas 3, R_1 y 4, R_2).

Los parámetros obtenidos para la línea de regresión son: r^2 (0.9567), coeficiente de correlación; b (0.4032), intercepto; a (0.8556), pendiente (*Fig. 13*), por lo que la ecuación de la línea de suelo queda de la siguiente manera $r_{s2} = \mathbf{0.8556} * r_{s1} + \mathbf{0.4032}$ y a partir de esta se obtuvo la línea de suelo (*Fig. 14*).

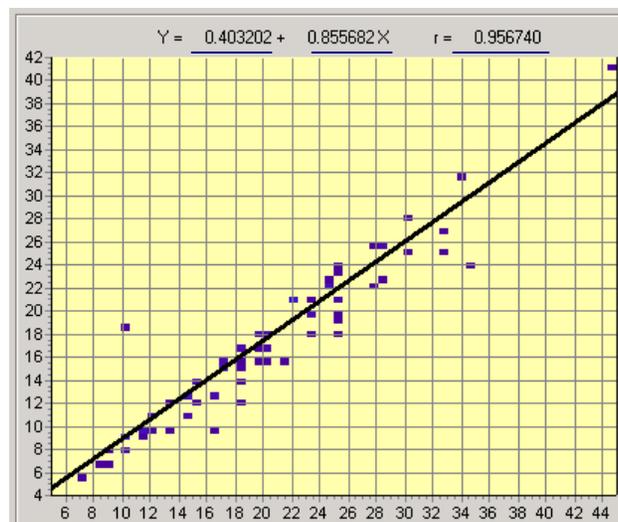


Figura 13. Parámetros de la línea de regresión para los datos de suelo desnudo del NDVI. $r^2 = 0.9567$, coeficiente de correlación; $b = 0.4032$, $a = 0.8556$.

Del diagrama de dispersión de la reflectancia del rojo-infrarrojo (Fig. 14) se obtuvo la máxima cobertura del dosel $r_{\infty_1} = 0.0792$ (reflectancia de la vegetación en el rojo) $r_{\infty_2} = 0.476$ (reflectancia de la vegetación en el infrarrojo cercano).

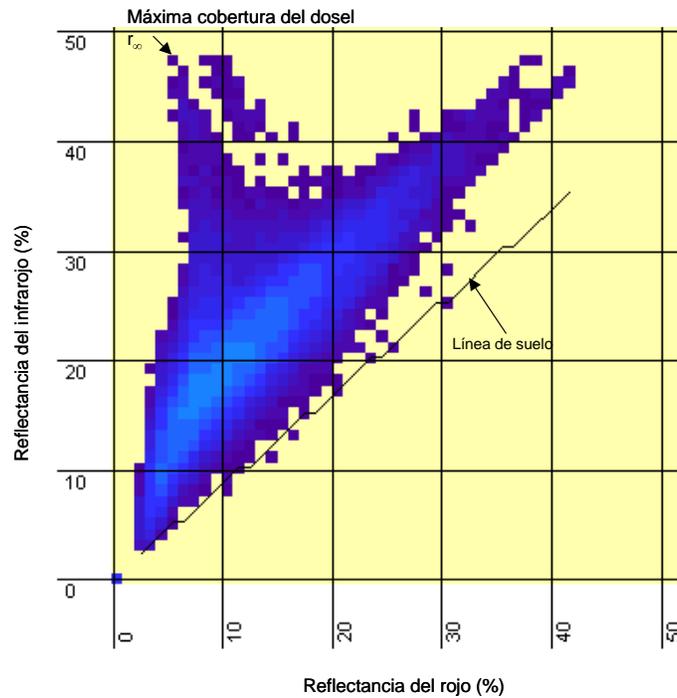


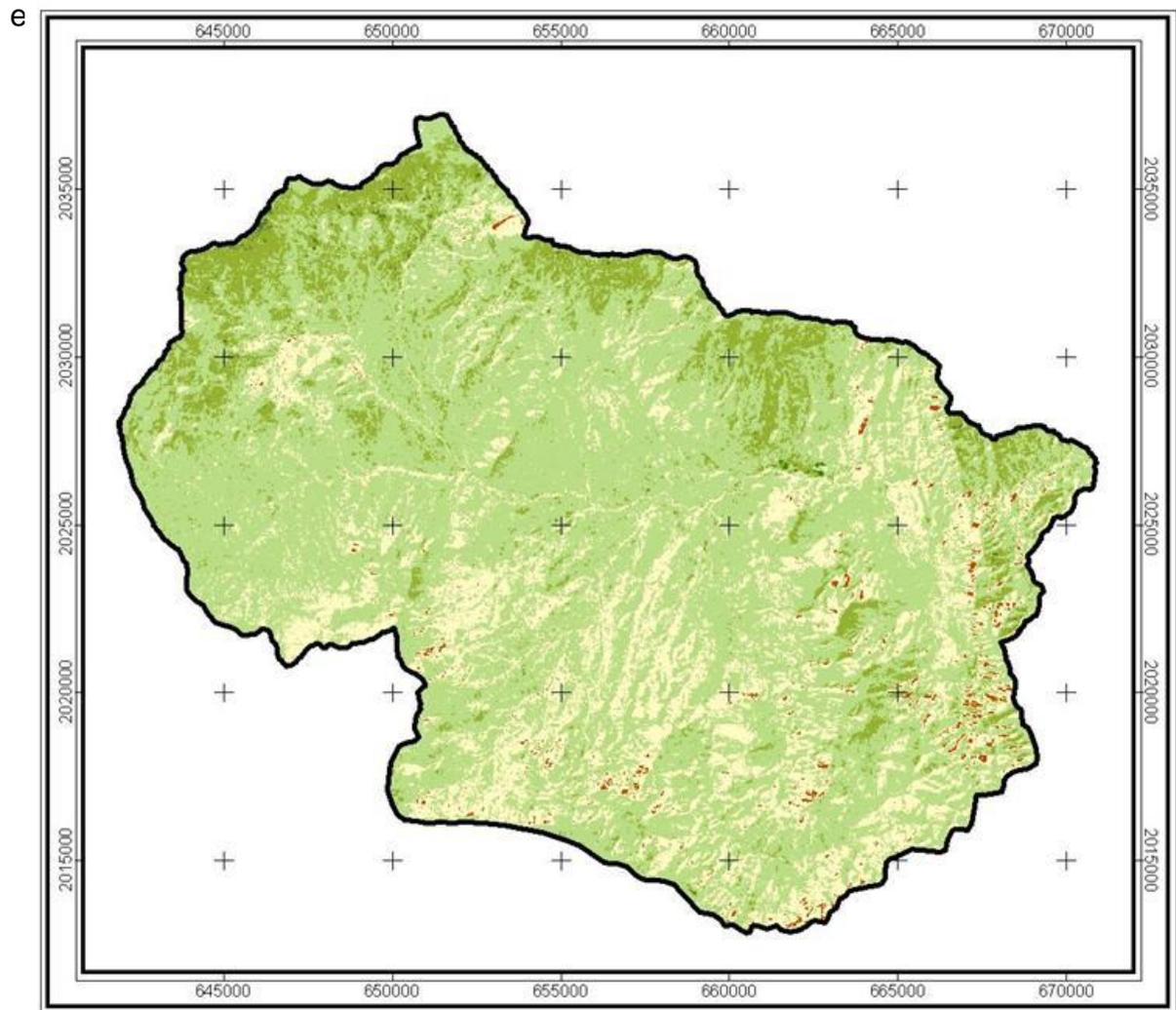
Figura 14. Diagrama de dispersión del factor de reflectancia entre el rojo y el infrarrojo cercano.

Los valores de las constantes de f son: $a = 0.8556$, $b = 0.4032$, $r_{\infty_1} = 0.0792$ y $r_{\infty_2} = 0.476$

por lo tanto la ecuación queda:

$$f = \frac{R_2 - 0.8556 * R_1 - 0.4032}{0.476 - 0.8556 * 0.0792 - 0.4032}$$

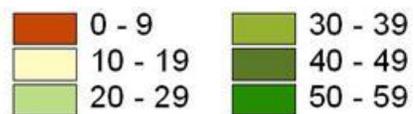
Los valores de f (Mapa 1) muestran que la densidad de la vegetación es muy baja. Esto se debe a que la contribución de la radiación reflejada es dominada por



Simbología

□ Subcuenca de Zapotitlan

Fracción de Terreno cubierta con vegetación %



Mapa1.- Fracción de terreno cubierta con vegetación (f).

El histograma de frecuencias de f (Fig. 15) muestra que el promedio de fracción de terreno cubierta con vegetación es de 23 ± 5.2 . El intervalo (17.8-28.2) agrupa 68.27 % de los píxeles.

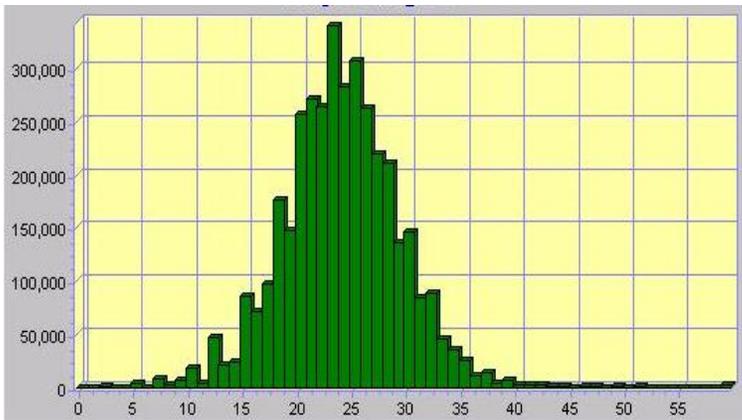


Figura 15. Histograma de frecuencias de la fracción de terreno cubierta por vegetación (%). El mayor número de píxeles de la imagen se encuentra con el 23 % de cobertura vegetal.

INTERVALOS DE f (%)	ÁREA Km2	ÁREA (%)
0-17	51.79815	12.515
18-28	302.478975	73.082
29-48	59.548725	14.388
49-59	0.0657	0.016
Área total	413.89155	100.000

Tabla 2. Distribución de fracción de terreno cubierta con vegetación en la subcuenca Zapotitlán.

En el *mapa 1* muestra la fracción de terreno cubierta con vegetación en porcentajes, esto es, la proporción cubierta por vegetación en la superficie de un píxel. Se observa que la cobertura de la vegetación es muy baja en el área de estudio. Los valores más altos de cubierta vegetal comprenden las áreas de cultivo de riego con un 59%, la vegetación natural alcanza valores de 49%, pero estas ocupan un área muy pequeña. El intervalo entre 0 y 17 % corresponde a áreas más abiertas, con vegetación muy escasa o nula, el intervalo que va 18 a 28 % cubre la mayor superficie de la subcuenca (*Tabla 2*).

6.7 Esquemas de clasificación de unidades vegetales

Las características de la vegetación, determinaron las estrategias básicas en el análisis de las tres comunidades vegetales, Cardonal, Tetechera y Matorral para las dos muestras (1980 y 2003); la clasificación (Cluster y discriminantes) y ordenación (Correlación Canónica), permitieron la definición de asociaciones de plantas y la detección de gradientes medioambientales. Dado que las tres comunidades para ambas muestras están definidas.

El análisis discriminante diferencia correctamente las tres comunidades, pero el modelo cartográfico no representa la heterogeneidad espacial que se observa en la realidad. Por esta razón se generaron grupos intermedios (asociación de plantas) que dieron una mejor visualización de la vegetación para las muestras de 2003.

La *figura 16* nos muestra la representación gráfica de los 6 grupos obtenidos en el análisis de discriminante Canónico en un espacio discriminante dado por las dos primeras funciones que explican el 66.4 % de la separación total entre los grupos.

Los grupos difieren significativamente ($\lambda_{\text{wilks}} = 0.041$, $p < 0.0001$) y el 84.4% de los casos fueron correctamente clasificados.

Canonical Discriminant Functions

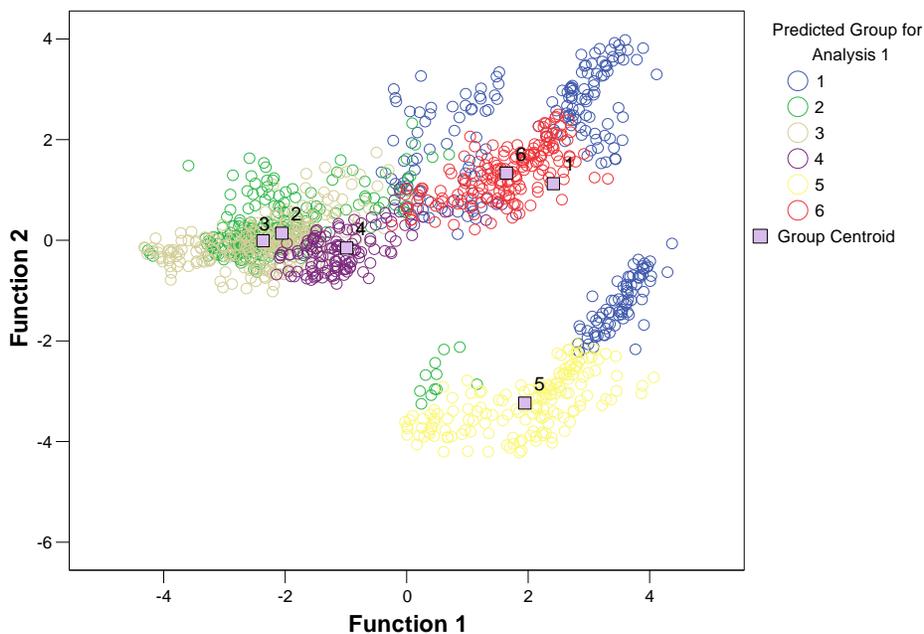


Figura 16. Análisis de discriminante Canónico: Gráfica de los seis grupos obtenidos en un espacio discriminante dado por las dos primeras funciones.

Por lo tanto tenemos seis unidades de vegetación correspondientes a cada grupo:
Grupo 1: Cardonal (C), Grupo 2: Tetechera (T), Grupo 3: Matorral (M), Grupo 4: Matorral-Tetechera (M-T), Grupo 5: Matorral-Cardonal (M-C) y el Grupo 6: Matorral-Tetechera-Cardonal (M-T-C).

6.7.1 Asignación de valores de mapas temáticos a las unidades vegetales

La estimación para asignar a que grupo pertenece cualquier punto en el mapa, se hizo conociendo las funciones discriminantes y los centroides (media) de cada grupo (Fig. 17).

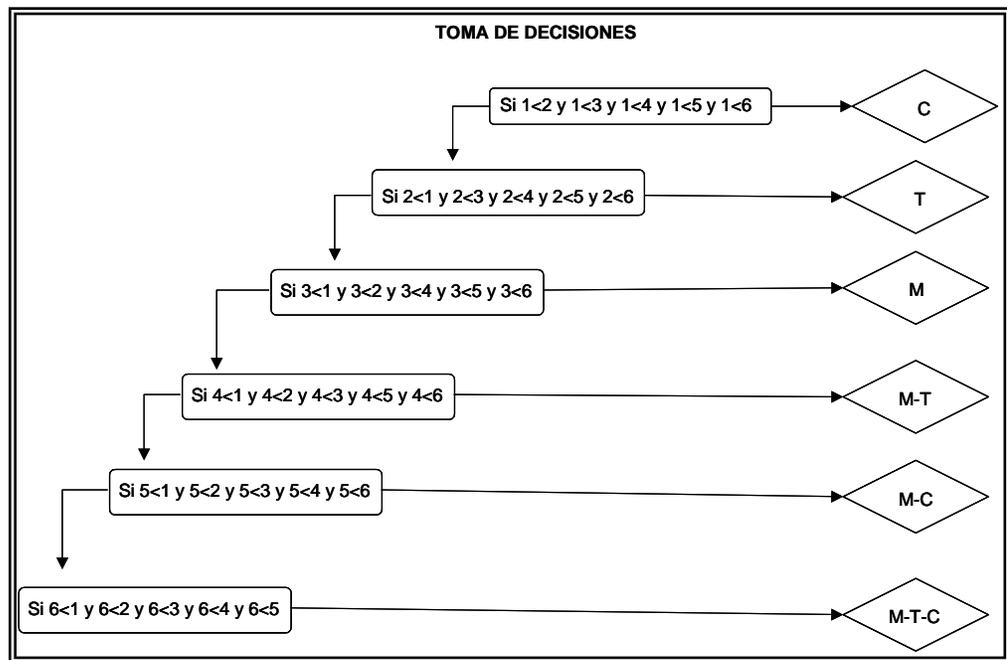
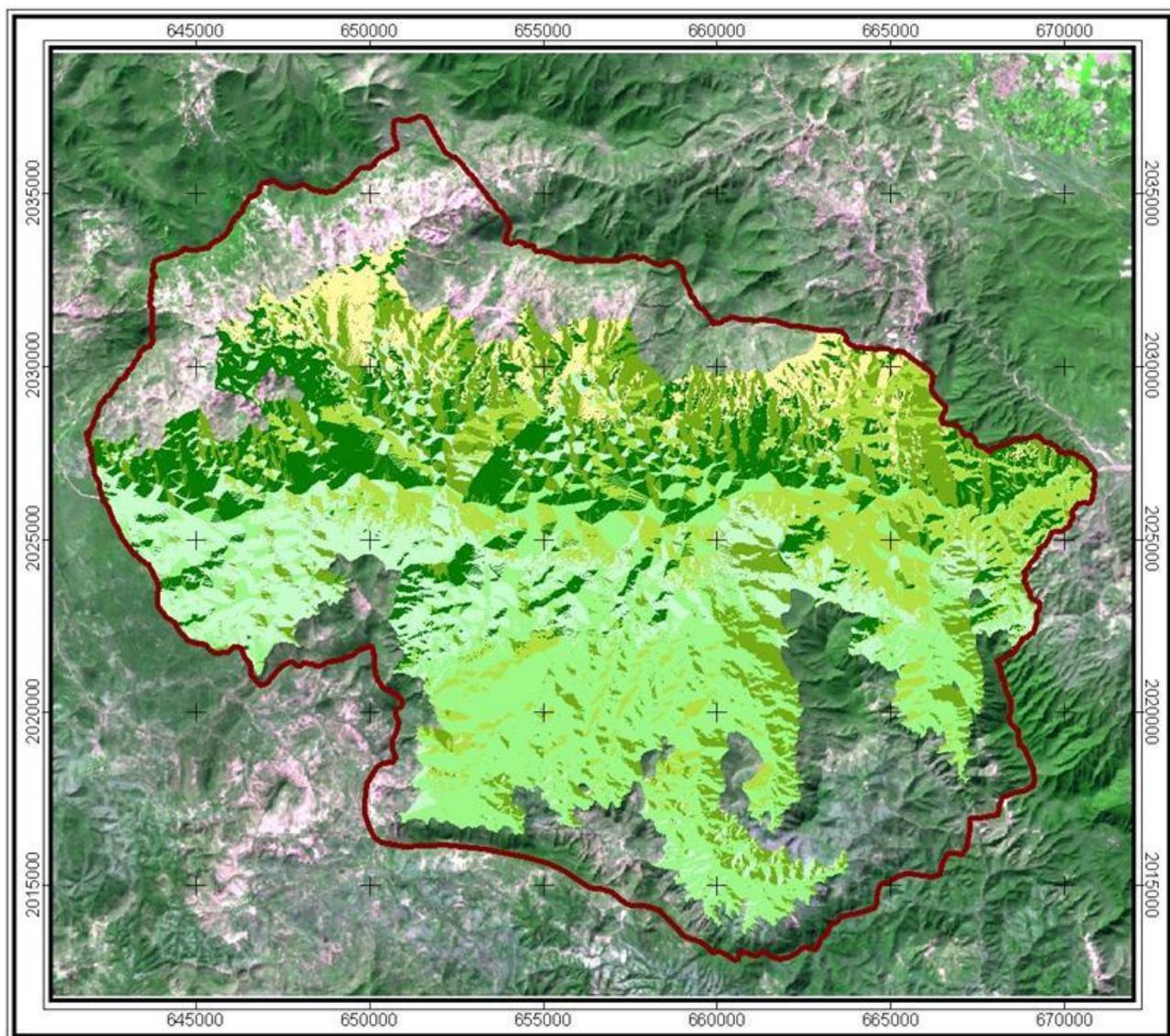


Figura 17. Diagrama de flujo de la toma de decisiones para la asignación del grupo al que pertenece, los números del 1 al 6 son las distancias al centroide de cada grupo (unidad vegetal), C (Cardonal 1), T (Tetechera 2), M (Matorral 3), M-T (Matorral-Tetechera 4), M-C (Matorral-Cardonal 5), M-T-C (Matorral-Tetechera-Cardonal 6)

La función de discriminante fue incorporada en un sistema de información geográfica para generar un modelo cartográfico (Anexo II) que, a su vez, fue usado para producir un mapa de vegetación.



Simbología

 Subcuenca de Zapotitlan

Unidades Vegetales

	Cardonal		Matorral - Tetechera
	Tetechera		Matorral - Cardonal
	Matorral		Matorral - Tetechera - Cardonal

Mapa 2. Distribución espacial de la Unidades Vegetales en la Subcuenca de Zapotitlán.

6.7.2 Validación del mapa

La exactitud del mapa se evaluó a través del cálculo de una matriz de confusión (errores de omisión y comisión), analizando la distribución espacial de las seis unidades vegetales, tomando como datos de “referencia” los 33 sitios de colecta en campo y los “clasificados” los obtenidos a partir del mapa, la extracción del valor del mapa permitió obtener puntos de verificación, para los que se cuenta con la unidad de vegetación real como la deducida por la clasificación.

Los resultados se muestran en una tabulación cruzada (matriz de confusión, Tabla 3), entre los datos clasificados (o no) en el mapa y los observados (o no) en campo. En esta matriz las columnas indican las unidades de vegetación de referencia y las filas las deducidas de la clasificación.

A partir de esta comparación, se identificaron en la diagonal de esta matriz, las unidades de vegetación clasificadas en el mapa y observadas en campo (aciertos), mientras los marginales suponen clasificadas y no observadas (errores de comisión), y no clasificadas y observadas (omisión). Considerando la limitación de la base de datos de referencia y su distribución espacial, es preciso interpretar con cautela tanto los errores de omisión como los de comisión.

Por esto, los resultados obtenidos (relación entre el número de puntos correctamente asignados y el total) indican un valor de precisión de 36%, esto nos permite afirmar que la fiabilidad de los datos de referencia y el procedimiento de clasificación numérica son poco fiables.

	1	2	3	4	5	6	Total	Error Comisión
1	2	0	0	0	0	0	2	0.0000
2	0	2	4	2	1	0	9	0.7778
3	1	2	2	1	0	1	7	0.7143
4	0	1	1	4	0	0	6	0.3333
5	2	0	0	1	0	1	4	1.0000
6	0	0	1	2	0	2	5	0.6000
Total	5	5	8	10	1	4	33	
Error omisión	0.6000	0.6000	0.7500	0.6000	1.0000	0.5000		0.6364

Tabla 3. Análisis de la matriz de error de Mapa con los puntos de verificación (columnas : verdadero) contra Mapa de los 6 grupos formados (renclones : mapa)

Atendiendo a los resultados obtenidos por el cálculo de la matriz de confusión, se consideró aumentar el tamaño de muestra de los puntos de control para validar el mapa y ver si la exactitud mejora en relación proporcional al tamaño de la muestra. En 2008 se realizó trabajo de campo muestreando 110 puntos (Anexo V), los cuales fueron clasificados de acuerdo a su fisonomía asignándoles la categoría correspondiente de las seis unidades de vegetación, estos se utilizaron para evaluar la clasificación numérica obtenida. De los 110 sitios muestreados, al compararlos con el mapa de clasificación, se observó que solo se acertó en un 24% de los sitios muestreados, la incertidumbre es muy grande, y la exactitud muy baja.

7 DISCUSION

La disponibilidad de la información espacial y temporal resultó esencial para el monitoreo de sitios permanentes; esto nos permitió avanzar en la comprensión de la dinámica de comunidades vegetales en la zona de estudio después de un periodo de 23 años. La reconstrucción de la ubicación geográfica de los sitios de estudio es importante dado que permitió un comparativo entre las dos fechas analizadas, aunque la falta de alguna información precisa ocasionó que tres sitios de muestreo de los 30 originales, no fueran ubicados adecuadamente. Cabe mencionar que físicamente la ubicación se realizó con la herramienta disponible y se hizo hasta el momento que se levantó la colecta de datos en 2003, así que ya no se corroboraron posteriormente, por lo tanto la ubicación puede tener un cierto margen de error.

A pesar de ello, fue posible ubicar los sitios de muestreo y registrar las especies encontradas, lo que nos permitió definir la conformación de grupos con mayor similitud mediante un análisis de conglomerados y, a su vez, grupos que difieren significativamente mediante un análisis de discriminantes, teniendo así la definición de las tres unidades de vegetación para ambas fechas.

Por otro lado, se observó que debido a la heterogeneidad registrada en los sitios de muestreo en 2003 y dependiendo del nivel de resolución utilizado, fue necesario definir subunidades dentro de cada grupo, que nos llevó a

reconocer seis asociaciones de vegetación, con lo que se buscó tener una mejor representación espacial en el mapa de clasificación.

La estructura de las comunidades podría estar determinada en gran medida por la variación de ciertas condiciones y recursos ambientales (Whittaker 1975). Este principio es la base de los métodos de ordenación (en este caso, Análisis Canónico de Correspondencia, ACC) que permiten caracterizar y proponer explicaciones de la estructura de las comunidades a partir de las condiciones medioambientales del entorno (especies y variables medioambientales). Los patrones de distribución espacial de las especies pueden estar en función de la variación espacial de los factores ambientales que la afectan (Ives y Klopfer 1997), el ACC, es por lo tanto, una herramienta para definir cuales factores son más importantes y, por tanto desempeñan un papel principal en la conformación de las comunidades vegetales, esto es, localmente pueden ejercer una influencia relativamente fuerte.

Los resultados de este análisis mostraron que las unidades de vegetación siguen un patrón como resultado de las interacciones con las variables edáficas, teniendo así que las unidades vegetales resultaron correlacionadas con variables edáficas: Potasio (K), Fósforo (P), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Materia Orgánica (MO) , así como proporciones altas de Arcilla y limo. Así, el Matorral se agrupa en suelos limosos con textura fina que retarda el movimiento del agua y del aire y con relativamente altas concentraciones de K y P mientras que la Tetechera se agrupa en suelos con altas

concentraciones de Ca y con alto porcentaje de Arcilla que tiene muy alta capacidad absorbente para el agua, gases y sales solubles. El Cardonal tiende a establecerse en suelos con relativamente altas concentraciones de Mg y MO que incrementa la reserva de nutrientes y permite una red de espacios porosos en los cuales puede circular con más libertad el agua y el aire, esencialmente la única fuente de nitrógeno (Buckman y Brady 1985).

En otros estudios se ha demostrado que las comunidades vegetales con condiciones de aridez, que están determinadas por condiciones del suelo o sustrato son matorrales crasicaules (Flores Mata et al 1971). Los matorrales crasicaules (nopaleras y cardonales) presentan una estrecha correlación con el sustrato geológico y se desarrollan sobre material ígneo, tanto intrusivo como extrusivo, siendo una excepción la región de Tehuacan-Cuicatlán, en donde las comunidades de crasicaules (Tetecheras con *Beaucarnea*) se desarrollan sobre material sedimentario (calizas y lutitas) (INEGI 1991)

Otros factores que tienen influencia sobre la expresión de la vegetación, principalmente a nivel regional o local, son variables geomorfológicas como pendiente, altitud, latitudes o la exposición a los rayos solares (orientación de ladera), Ramos y González-Medrano (1972), encontraron que la latitud y la orientación de las laderas se correlacionan con la distribución de la vegetación, esto es, que a latitudes medias y altas los rayos del sol tienden a ser más oblicuos, de tal modo que las laderas orientadas al ecuador (en México las del sur), tienen un tiempo mayor de iluminación y calentamiento

que aquellas orientadas hacia los polos (en México orientadas al norte), por lo tanto, las laderas del lado sur sostienen una comunidad vegetal más xérica que las orientadas hacia el norte.

En este estudio, las variables con mayor influencia son altitud, pendiente y orientación de ladera, teniendo así que el Matorral se encuentra a menores altitudes, pendientes suaves y orientaciones Noroeste (NW), la Tetechera tiende a establecerse en pendientes fuertes a altitudes intermedias, con predominancia de una orientación NW, mientras que el Cardonal tiende a ubicarse en pendientes fuertes, mayores altitudes y a orientaciones Sureste (SE). Así de cierto modo, se encuentran distribuidas en un gradiente altitudinal.

Las variables edáficas y geomorfológicas interactúan en el tiempo para crear procesos específicos que conducen a la diferenciación de hábitats y a la formación de unidades vegetales, estos factores dependen en menor o mayor grado uno del otro, o de algún otro factor no incluido para este análisis.

Si estos factores que generan o mantienen estos patrones, se modifican con el tiempo ¿provocarán cambios estructurales en los ensamblajes de especies y en los patrones de variación espacial? Si la persistencia de las comunidades es un componente de la estabilidad, cuya definición depende del nivel de resolución numérico que es utilizado y de la naturaleza jerárquica de la persistencia de las comunidades, entonces ¿Estos patrones se verán reflejados en la composición y abundancia absoluta y relativa de especies?

Los resultados del análisis de niveles jerárquicos muestran que estas unidades de vegetación son estables en cuanto a composición específica e inestables en cuanto a las abundancias absolutas de las especies. El Cardonal y Matorral mostraron también estabilidad al nivel de jerarquía de abundancias de las especies, mientras que la Tetechera resultó inestable para este nivel de evaluación, lo que indica que es la unidad de vegetación que más cambios ha sufrido en los últimos 23 años. Esto concuerda con el análisis de conglomerados realizado en este estudio, que muestra que para 1980 de los 27 sitios muestreados, 16 sitios pertenecen a la Tetechera y al Matorral sólo cuatro, para 2003 de los 26 sitios muestreados, la Tetechera tiene cuatro sitios agrupados y el Matorral queda con 15 sitios. Por lo que podemos considerar que el Matorral aumentó su extensión espacial a expensas de la Tetechera.

Estos cambios parecen implicar una “invasión” del Matorral sobre la Tetechera, tal vez producido por intervenciones humanas que han implicado desmontes y subsecuente abandono de los terrenos, sin que se haya dado un proceso de regeneración. Por otro lado, es posible que la estabilidad observada a la escala de los tres tipos de vegetación reconocidos enmascare diferentes niveles de inestabilidad producto de la dinámica que se da a niveles más finos de resolución espacial y temporal y que la clasificación de tres tipos de vegetación no sea lo suficientemente fina para develar situaciones de inestabilidad a niveles más finos relacionados con patrones de distribución

espacial dentro de cada sitio asociados con heterogeneidad intra-parcela del hábitat, por ejemplo.

La naturaleza espacial de los ecosistemas condiciona mucho de sus patrones y dinámicas. Esa correlación entre vegetación y medio ambiente, en la que se fundamenta la distribución de especies es a menudo insuficiente para explicar la estructura y distribución espacial de las comunidades. La inclusión del espacio en los modelos (*entiéndase por modelo a las representaciones de procesos dinámicos en el tiempo relevantes para explicar los patrones observados*) ecológicos ofrece nuevas perspectivas para explicar la formación y mantenimiento de una gran variedad de patrones espacio-temporales (Zavala, et al. 2006).

Los patrones temporales observados en este estudio enfatizan la necesidad de análisis con un enfoque de metacomunidades (Liebold et al. 2004) donde podamos plantear un esquema de análisis a partir de las relaciones dinámicas entre parches de vegetación ligados por procesos de dispersión. Considerando que, al parecer, estamos observando un proceso de invasión del Matorral sobre la Tetechera, también será importante analizar a la dinámica de las comunidades de la subcuenca de Zapotitlán a partir de un enfoque de la ecología de las invasiones, donde interviene tanto la capacidad de invasión de las especies (invasividad), como la vulnerabilidad de las comunidades a ser invadidas (invasibilidad) (Davies 2005, Levine 2000, Richardson y Pysek 2006, Jiménez 2009). Así, los procesos responsables de

los patrones observados estarían relacionados con la dispersión y establecimiento de propágulos entre parches de asociaciones vegetales diferentes. Estos procesos estarían modulados por procesos internos (características de invasividad de las especies, interacciones, patrones de variación local del medioambiente) y externos (disturbios, patrones de variación medioambiental a escala regional).

Jiménez realizó un estudio en 2009 a partir de los patrones temporales observados en este trabajo y, a partir del análisis de propiedades de dispersión de las especies presentes en los tres tipos de comunidades aquí descritas, propone un modelo conceptual en el contexto de la dinámica de metacomunidades :

- El Cardonal, que no cambió significativamente luego de 23 años, presentó el índice de invasividad más bajo, esta baja variabilidad no se espera que sea debido al efecto rescate propuesto en la teoría de metacomunidades (Liebold et al. 2004) pues habría una relativa baja capacidad de invasividad a nivel comunitario. Por lo que se plantea lo siguiente: 1) es probable que haya tenido un impacto humano relativamente bajo, por lo que no se ha afectado significativamente su invasibilidad y 2) que invasoras de otras comunidades locales tengan bajo potencial de establecimiento en las condiciones del Cardonal.
- La Tetechera, que más cambios ha sufrido en estos últimos 23 años, presenta un índice de invasividad intermedio, mayor al Cardonal y

menor al Matorral, que en más de la mitad de su distribución original (1980) ha sido sustituida por el Matorral. Es un tipo de vegetación con una fuerte presión por la apertura de terrenos para la agricultura que posteriormente son abandonados, por lo que: 1) se dificultaría el rescate de la comunidad por recolonización debido a su relativamente baja invasividad de sus especies constituyentes y 2) sería fácilmente colonizable por las agresivas especies del Matorral dado que presentaría una relativamente alta invasibilidad.

- El Matorral, ha mantenido su estructura y en los últimos 23 años incluso expandió su presencia en el valle de Zapotitlán, presenta el mayor índice de invasividad, esto permite 1) el rescate de la comunidad local y 2) la invasión de parches perturbados en otros tipos de comunidades locales originales, particularmente aquellos de Tetechera.

La construcción del modelo para representar la distribución espacial de las tres unidades vegetales para las dos muestras (1980 y 2003) es una herramienta para explicar los patrones espacio temporales, este modelo incluye variables geomorfológicas, longitud (x) y latitud (y) además de la fracción de terreno cubierta con vegetación, una ecuación de discriminantes canónico, así como la ecuación del cálculo de valores para grupos discriminantes y una regla numérica de asignación de grupos (unidades vegetales determinadas en este estudio). Una de las variables depende del espacio (x,y).

Se emplearon estas variables bajo el supuesto de que, en la zona de estudio, definirían espacialmente a las tres unidades de vegetación identificadas en los análisis; sin embargo, el modelo no alcanzó a representar la heterogeneidad espacial que se observa en la realidad para los dos tiempos muestreados. Por esto, se decidió trabajar únicamente con las muestras del 2003, generando asociaciones de plantas disminuyendo la escala de partición en el procedimiento de clasificación multivariada (análisis de conglomerados), además de análisis de componentes principales y análisis discriminante múltiple, obteniendo de esta manera seis grupos. Así, el modelo de distribución espacial se aplicó para representar estos seis grupos en un mapa de distribución espacial de la vegetación.

El mapa es la simulación y representación de las ecuaciones aplicadas en el modelo, y nos describe la frecuencia de pixeles ocupados por una determinada unidad de vegetación. Sin embargo, los resultados obtenidos reflejan lo muy complejo que es deducir una ecuación de comportamiento general que nos indique de que manera cambiarán o lo largo del tiempo las unidades vegetales y la distribución espacial resultante.

El papel de los procesos espaciales puede ser variable en función del sistema en cuestión, y a veces la aproximación de campo puede ser satisfactoria (Pacala 1996) o no, como en este estudio que, tras realizar la validación en campo (puntos de referencia tomados en 2003 y 2008) del mapa de distribución espacial indica que la exactitud va de un 24% a un 36%; esto es,

la exactitud del modelo para representar la distribución espacial de la vegetación es muy pobre y, por tanto, cualquier inferencia que pudiéramos hacer con respecto a la representación cartográfica de nuestros seis tipos de vegetación sería poco fiable. Podemos decir que, dada la heterogeneidad de la vegetación, el modelo propuesto sólo obtiene información puntual del sitio de referencia o del transecto de 50 x 5 m y que el tamaño del pixel de 30 m no permite detectar los cambios de transición entre una unidad de vegetación y otra. Por lo tanto, el modelo es numérico y no es factible aplicarlo para representar la distribución espacial de unidades de vegetación en la zona semiárida de la subcuenca de Zapotitlán.

Pese a lo anterior, el análisis espacial realizado en esta tesis permite tener una visión más amplia acerca de la heterogeneidad espacial de la vegetación de la región estudiada y, a partir de los resultados obtenidos podemos orientar la búsqueda a nuevos modelos con un grado de detalle espacial que pueda ser interpretado cartográficamente.

Finalmente, se sugiere la necesidad de realizar monitoreos a largo plazo con diferentes escalas de resolución espacial para brindar un marco adecuado para el conocimiento, manejo y conservación de las comunidades naturales de esta y otras regiones prioritarias.

BIBLIOGRAFIA

Aguilar, C., E. Martínez y L. Arriaga. 2000. Deforestación y Fragmentación de Ecosistemas: ¿Qué tan grave es el problema en México?. *Biodiversitas*. Año 5 num. 30:7-11.

Arias, T.A.A., M.T. Valverde y J. Reyes. 2000. Las plantas de la región de Zapotitlán Salinas, Puebla. SEMARNAP-INE. Pag.70-72.

Austin, M.P. 1981. Permanent quadrats: an interface for theory and practice. *Vegetatio* 46:1-10.

Baker, G.A., P.W. Rundell y D.J. Parsons. 1982. Comparative phenology and growth in three chaparral shrubs. *Botanical Gazette* 143:94-100.

Begon, M., J.L. Harper y C.R. Townsend. 1996. *Ecology. Individuals, Populations and Communities*. Blackwell Scientific Publications. Oxford.

Bravo Hollis, H. 1930. Las cactáceas de Tehuacán. *Anales del Instituto de Biología*. Méx. 1: 87-124.

Bravo Hollis, H. 1931. Contribución al conocimiento de las cactáceas de Tehuacan. Tesis. UNAM. México: 52 pp.

Bravo Hollis, H. 1956. Iconografía de las cactáceas mexicanas : *Neobuxbaumia tetetzo*. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 1(1): 15-16.

Bravo, H. H. 1978. *Las Cactáceas de México*. Tomo I. UNAM. México. 743 pp.

Bravo, H. H.; H. Sánchez-Mejorada R. 1991. Las Cactáceas de México. Tomos II y III. UNAM. México.

Buckman, O.H. y Brady C.N. 1985. Naturaleza y propiedades de los suelos. Ed. UTEHA. México.

Burrough, P.A. 1996. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Clarendon Press, Oxford, EUA. 194pp.

Buol, S.W., F.D. Hole y R.J. McCracken. 1991. Génesis y Clasificación de Suelos. Editorial trillas. México. 417pp.

Chuvienco, E. 1990. Fundamentos de Teledetección Espacial. Segunda Edición. Ediciones RIALP. S.A. Madrid. 453 pp.

Chuvienco, E. 2002. Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio. Editorial Ariel. España. 586 pp.

Cody, M.L. 1986. Structural niches in plant communities. In: Diamond, J. y T.J. Case. (eds.). Community Ecology. Harper & Row. New York: 381-405.

Colwell, J. E. 1974. Vegetation canopy reflectance. Remote Sensing of Environment, 3: 175-183.

Connell, J.H. y R.O. Slatyer. 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. American Naturalist 111:1119-1144.

Crist, E.P y R.C. Cicone. 1984. Application of the Tasseled Cap Concept to Simulated Thematic Mapper Data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Vol. 50, No 3, pp. 343-352.

Dávila, P., Villaseñor, J.L., Medina, R., Ramírez, A., Salinas, A., Sanchez-Ken, J. y Tenorio, P. 1993. Listados florísticos de México. X. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Instituto de Biología, U.N.A.M., México, D.F., México

Dávila, P., R. Medina, A. Ramírez, A. Salinas y P. Tenorio. 1995. Análisis de la flora del valle de Tehuacán-Cuicatlán endemismo y diversidad. Conservación de plantas en peligro de extinción: Diferentes enfoques. UNAM. Instituto de Biología. Pag. 33-41.

Davis, M. A. 2005. Invasibility: the local mechanism driving community assembly and species diversity. *Ecography* 28:696-704

Deering, D. W., J.W. Rouse, R. H. Haas, and J.A. Schell. 1975. Measuring Forage Production of Grazing Units from Landsat MSS Data. *Proceedings, 10th International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 2:1169-1178.

DOF. Diario Oficial de la Federación, 18 de septiembre de 1998

Felicísimo, A.M. 1994. Modelos Digitales de Terreno. Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales. Pentalfa Ediciones. 118 pp.

FitzPatrick, E.A. 1993. Suelos. Su Formación, Clasificación y Distribución. Compañía Editorial Continental, México. 430 pp.

Flores Mata, J., L. Jiménez López, X. Madrigal Sánchez, F. Moncayo Ruiz y T.F.

- Takaki 1971. Mapa y descripción de los tipos de vegetación de la República Mexicana. SRH. Dirección de Agrología. 59 pp. 1 mapa.
- Forman, R.T.T., and M. Gordon. 1986. Landscape Ecology. John Wiley & Sons, New York. 619 pp.
- García, E. 1981. Modificaciones al Sistema Climático de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- García, O.F. 1991. Influencia de la dinámica del paisaje en la distribución de las comunidades vegetales en la cuenca del río Zapotitlán, Puebla. Investigaciones Geográficas Boletín del Instituto de Geografía. Número 23.
- García d. 2006. La escala y su importancia en el análisis espacial. Ecosistemas. 2006/3 7-19
- Gauch, H.G., Jr. 1982. Multivariate Analysis in Community Ecology. Cambridge University Press, Cambridge.
- Godínez-Alvarez, H. y Valiente-Banuet, A. 1998. Germination and early seedling growth of Tehuacan Valley cacti species: the role of soils and seed ingestion by dispersers on seedling growth. Journal of Arid Environments, 39: 21-31.
- Gold, D.B. & Matuda, E. 1956. Las cactáceas de Tehuacán. Cac. Suc. Méx. 1 : 68-72.
- Hair, J.F., R. E. Anderson, R.L. Tatham and W.C. Black. 1999. Análisis multivariante. 5a ed. Prentice Hall Iberia. Madrid. 832 pp.
- Harris, L. 1984. The fragmented Forest: Island Biogeography Theory and the Preservation of Biotic diversity. University of Chicago, Chicago.

Hill, M.O. 1973. Reciprocal Averaging: An eigenvector method of ordination. *Journal of Ecology* 61: 237-249.

INEGI. 1991. Datos básicos de la Geografía de México. INEGI, México. 142 pp.

Ives, A.R. & E.D. Klopfer. 1997. Spatial variation in abundance created by stochastic temporal variation. *Ecology*, 78(6), pp.1907-1913.

Jiménez, M.J.M. 2009. Invasividad de comunidades vegetales en una zona árida del trópico mexicano. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Metropolitana. México.

Kemp, P.R. 1983. Phenological patterns of Chihuahuan Desert plants in relation to the timing of water availability. *Journal of Ecology* 71:427-436.

Kovach, W.L. 1999. MVSP – A MultiVariate Statistical Package for Windows, ver. 3.1. Kovach Computing Services, Pentraeth, Wales, UK.

Krebs, C.J. 1999. *Ecological Methodology*. Benjamin/ Cummings. 2nd ed. Pag.294-297.

Levine, J. M. 2000. Species diversity and biological invasions: relating local process to community pattern. *Science* 288(5467):852–854.

Liebold, M.A., M. Holyoak, N. Mouquet, P. Amarasekare, J.M. Chase, M.F. Hoopes, R.D. Holt, J.B. Shurin, R. Law, D. Tilman, M. Loreau y A. Gonzalez. 2004. The metacommunity concept: a framework for multi-scale community ecology. *Ecology Letters* 7: 601-613.

McAuliffe, J.R. 1988. Markovian dynamics of simple and complex desert plant communities. *American Naturalist* 131:459-490.

Meyrán, G.J. 1973. Guía botánica de cactáceas y otras suculentas del valle de Tehuacán. Sociedad Mexicana de Cactología A.C. México.

Miranda, F. 1948. Datos sobre la vegetación de la Cuenca Alta del Papaloapan. Anales del Instituto de Biología. UNAM 19:333-364.

McGarigal, K. and W.C. Mc Comb. 1995. Relations between landscape structure and breeding birds in the Oregon coast range. Ecological Monographs 65:235-260.

NASA. 1998. Landsat 7, Science Data User Handbook, Chapter 11-Data products. http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_toc.html

Noy-Meir, I. 1973. Desert ecosystems: environment and producers. Annual Review of Ecology and Systematics 4:25-51.

Orians, G.H. y O.T. Solbrig. 1977. Convergent evolution in warm deserts. Dowden, Hutchinson & Ross, Inc. New York.

Osorio, O., Valiente-Banuet, A., Dávila, P. y Medina, R. 1996. Tipos de vegetación y diversidad *B* en el Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla, México. Boletín de la Sociedad Botánica de México. 59:35-58.

Oliveros-Galindo, O. 2000. Descripción estructural de las comunidades vegetales en las terrazas fluviales del Río el Salado, en el Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla, México. Tesis de licenciatura. ENEP-Iztacala, UNAM, Tlalnepantla, Edo. de México.

Pacala, S.W. 1996. Models of plant coexistence. En Plant Ecology, (ed. Crawley, M.C.) 2nd Edition Blackwell Scientific, Oxford, UK.

Peters, A.J. & Eve, M.D. 1995. Satellite monitoring and Assessment, 37: 273-287.

Peters, A.J., Eve, M.D., Holt, E.H. & Whitford, W.G. 1977. Analysis of desert plant communities growth patterns with high temporal resolution satellite spectra. *Journal of Applied Ecology*, 34: 418-432.

Price, J.C. 1992. Estimating Vegetation Amount from Visible and Near Infrared Reflectances. *Remote Sensing of Environment* 41: 29-34

Primack, R.B. 1993. *Essentials of Conservation Biology*. Sinauer, Sunderland. P. 564.

Rahel, F.J. 1990. The hierarchical nature of community persistence: a problem of scale. *The American Naturalist* 136: 328-344.

Ramos, C.H. y F. Gonzalez-Medrano. 1972. La vegetación de la zona árida veracruzana. *An. Inst. Biol. Mex. Ser.Bot.* 43:77 –79.

Richardson, D. M. y P. Pysek. 2006. Plant invasions: merging the concepts of species invasiveness and community invisibility. *Progress in Physical Geography* 30:409- 431

Rouse, J.W., Hass, R. H., Schell, J.A., Deering, D. W. & Harlan, J.C. 1974.

Monitoring the Vernal Advancements and Retrogradation (Greenwave effect) of Nature Vegetation. NASA/GSFC Final Report, NASA, Greenbelt, MD. Pp. 371.

Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Editorial Limusa. México.432pp

Sarukhán, J. 1995. *Diversidad biológica de México*. Universidad Nacional Autónoma de México. 3-10p

Schmidt, H. & A. Karnieli. 2000. Remote sensing of the seasonal variability of vegetation in a semi-arid environment. *Journal of Arid Environments*. 45: 43-59.

SEMARNAP.1998. Decreto por el que se declara área natural protegida, con el carácter de Reserva de la Biosfera, la región denominada Tehuacán-Cuicatlán, ubicada en los estados de Oaxaca y Puebla. Diario Oficial de la Federación. Viernes 18 de septiembre de 1998. México.

Smith, C.E. 1965. Flora Tehuacán Valley. Fieldiana Botany 31:101-143

Sokal, R.R. & F.J. Rohlf. 2001. Biometry. W.H. Freeman and company New York. Third edition.

Tatsuoka, M. M. 1970. Discriminant analysis. The study of group differences. Selected topics in advanced statistics. An elementary approach. VI. Inst. Person. Abil. Test., Champaign. Illinois. 57p

Ter Braak, C.J.F. 1986. Canonical Correspondence Analysis: A new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. Ecology 67: 1167-1179.

Toledo, V.M. 1988. La diversidad biológica en México. Ciencia y desarrollo. 81:17-29.

Toledo, V.M., y Ma. de J. Ordóñez. 1993. The biodiversity scenario of México: A review of terrestrial habitats. En: T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y j. Fa (Eds.) Biological diversity of Mexico: Origins and distribution. Oxford University Press, Nueva York, pp.757-777.

Turner, R.M. 1990. Long-term vegetation change at a fully protected Sonoran Desert site. Ecology 71:464-477.

- Valiente-Banuet, A., Ma del C. Arizmendi and L. Domínguez-Canseco. 1996. Ecological relationships between columnar cacti and nectar-feeding bats in Mexico. *Journal of Tropical Ecology* 12: 103-119.
- Velázquez, A., G. Bocco y A. Torres 2001. Turning scientific approaches into practical conservation actions: The case of comunidad indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Mexico. *Environmental Management* 27(5): 655-665.
- Vite, F., J.A. Zavala-Hurtado, M.A. Armella, y M.D. García. 1992. Regionalización y caracterización macroclimática del Matorral xerófilo. Superficies de respuesta a variables climáticas de once géneros de plantas característicos de este tipo de vegetación. Carta escala 1:8 000 000. Atlas Nacional de México. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Vite, F., E. Portilla, J.A. Zavala-Hurtado, P. L. Valverde & A. Díaz-Solís. 1996. A natural hybrid population between *Neobuxbaumia tetetzo* and *Cephalocereus columna-trajani* (Cactaceae). *Journal of Arid Environments* 32: 395-405
- Villaseñor, J.L., P. Dávila y F. Chiang. 1990. Fitogeografía del valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 50: 135-149.
- Zar, J.H. 1999. *Biostatistical análisis*. Prentice may, Upper Saddle River, N. Jersey.
- Zavala Hurtado, J.A. 1980. Estudios ecológicos en el valle semiárido de Zapotitlán de las Salinas, Puebla. Clasificación de la vegetación. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, U.N.A.M.
- Zavala-Hurtado, J.A. 1982. Estudios ecológicos en el valle semiárido de Zapotitlán,

Puebla. I. Clasificación numérica de la vegetación basada en atributos binarios de presencia y ausencia de las especies. *Biotica* 7 : 99-119

Zavala-Hurtado, J.A. & A. Díaz-Solís. 1995. Repair, growth. Age and reproduction in the giant columnar cactus *Cephalocereus columna-trajani* (Karwinski ex. Pfeiffer) shumann (Cactaceae). *Journal of Arid Environments* 31: 21-31

Zavala-Hurtado, J.A., P.L. Valverde, A. Díaz-Solís, F. Vite & E. Portilla. 1996. Vegetación-environment relationships based on a life forms classification in a semiarid region of Tropical Mexic. *Revista de Biología Tropical* 44:561-570.

Zavala Hurtado, J.A., Vite, F. & M.A. Armella Villapando, 1997. Programa de desarrollo regional sustentable de Tehuacán-Cuicatlán. Informe técnico elaborado para la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. UAM. México.

Zavala Hurtado, J.A. & G. Hernández C. 1998. Estudio de Caracterización y Diagnóstico del Área propuesta como Reserva de Biosfera Tehuacan-Cuicatlan. Instituto Nacional de Ecología – Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. Pp. 110

Zavala Hurtado, J.A., F. Vite & E. Ezcurra. 1998. Stem tilting and pseudocephlium orientation in *Cephalocereus columna-trajani* (Cactaceae): a functional interpretation. *Ecology* 79: 340-348.

Zavala M.A., Díaz-Sierra R., Purves D., Zea G.E., Urbieta I.R. 2006. Modelos espacialmente explícitos. *Ecosistemas*. 2006/3.

ANEXOS

Anexo I. Formas de vida en el valle semiárido de Zapotitlan, México, propuestas por Zavala-Hurtado et. al. 1996.

FORMAS DE VIDA	
LF1	Incluye especies columnares ramificadas y en forma de candelabro
LF2	Incluye especies con tallos aplanados y ramificados
LF3	Incluye especies columnares no ramificadas y cactáceas con forma de barril
LF4	Cactáceas globosas solitarias
LF5	Plantas globosa gregarias
LF6	Plantas arbóreas con forma rosetófila
LF7	Especies con forma rosetófila acaulescente
LF8	Plantas pequeñas con forma rosetófila
LF9	Especies trepadoras
LF10	Arbustos bajos con hojas simples sin espinas
LF11	Arbustos de tamaño medio con hojas micrófilas
LF12	Incluye arbustos pequeños con hojas con pelos (pubescentes)
LF13	Árboles y arbustos sin espinas, principalmente con hojas compuestas

FORMAS DE VIDA	
LF14	Incluye árboles y arbustos espinosos
LF15	Incluye arbustos de tamaño medios sin espinas con hojas simples
LF16	Especies con hojas efímeras, tallo suculento fotosintético sin espinas
LF17	Incluye árboles y arbustos con una corteza exfoliante
LF18	Arbustos con hojas simples cerosas

Anexo II. Calculo de grupos discriminantes utilizando mapas temáticos

```
/* Calculo de grupos discriminantes utilizando mapas tematicos
/* Junio 2004
&sv alt = [response 'MDT']
&sv orine = [response 'Orientacion NE']
&sv orise = [response 'Orientacion SE']
&sv orisw = [response 'Orientacion SW']
&sv orinw = [response 'Orientacion NW']
&sv px = [response 'Coord X']
&sv py = [response 'Coord Y']
&sv cob = [response 'Cobertura de terreno']
&sv pend = [response 'Pendiente']
&sv t = [response 'Test No. ]
&sv a1 = [response 'Coeficiente a discriminante 1:']
&sv a2 = [response 'Coeficiente a discriminante 2:']
&sv b1 = [response 'Coeficiente b discriminante 1:']
&sv b2 = [response 'Coeficiente b discriminante 2:']
&sv c1 = [response 'Coeficiente c discriminante 1:']
&sv c2 = [response 'Coeficiente c discriminante 2:']
&sv d1 = [response 'Coeficiente d discriminante 1:']
&sv d2 = [response 'Coeficiente d discriminante 2:']
&sv e1 = [response 'Coeficiente e discriminante 1:']
&sv e2 = [response 'Coeficiente e discriminante 2:']
&sv f1 = [response 'Coeficiente f discriminante 1:']
&sv f2 = [response 'Coeficiente f discriminante 2:']
&sv g1 = [response 'Coeficiente g discriminante 1:']
&sv g2 = [response 'Coeficiente g discriminante 2:']
&sv h1 = [response 'Coeficiente h discriminante 1:']
&sv h2 = [response 'Coeficiente h discriminante 2:']
&sv i1 = [response 'Coeficiente i discriminante 1:']
&sv i2 = [response 'Coeficiente i discriminante 2:']
&sv j1 = [response 'Coeficiente j discriminante 1:']
&sv j2 = [response 'Coeficiente j discriminante 2:']
grid
&do n = 1 &to 2 &by 1
&if [exists dis%n%%t% -grid] &then
kill dis%n%%t% all
dis1%t% = (%a1% + (%b1% * %pend%) + (%c1% * %alt%) + (%d1% * %orine%) + (%e1% * %orise%) +
(%f1% * %orisw%) + (%g1% * %orinw%) + (%h1% * %px%) + (%i1% * %py%) + (%j1% * %cob%))
dis2%t% = (%a2% + (%b2% * %pend%) + (%c2% * %alt%) + (%d2% * %orine%) + (%e2% * %orise%) +
(%f2% * %orisw%) + (%g2% * %orinw%) + (%h2% * %px%) + (%i2% * %py%) + (%j2% * %cob%))

/* Calculo de distancias al centroide del grupo

&type Calculando valores para grupos discriminantes...
&do n = 1 &to 3 &by 1
&if [exists mdis%n%g%n%%t% -grid] &then
kill mdis%n%g%n%%t% all
&end
mdis1g1%t% = sqrt (sqr( 2.4148145378196 - dis1%t%) + sqr( 1.12415521364163 - dis2%t%))
mdis2g2%t% = sqrt (sqr( -2.05471629410953 - dis1%t%) + sqr( 0.140680757100929 - dis2%t%))
mdis3g3%t% = sqrt (sqr( -2.36498823601566 - dis1%t%) + sqr( -0.0104475887851769 - dis2%t%))
```

```
mdis4g4%t% = sqrt (sqr( -0.986626203010561 - dis1%t%) + sqr( -0.153101941237629 - dis2%t%))
mdis5g5%t% = sqrt (sqr( 1.94578937951421 - dis1%t%) + sqr( -3.23436273609407 - dis2%t%))
mdis6g6%t% = sqrt (sqr( 1.6411168641448 - dis1%t%) + sqr( 1.3352611809196 - dis2%t%))
```

```
/* Regla de asignación de grupo
```

```
&if [exists mtest%t% -grid] &then
kill mtest%t% all
```

```
&type asignando grupos discriminantes...
```

```
if (mdis1g1%t% < mdis2g2%t% & mdis1g1%t% < mdis3g3%t% & mdis1g1%t% < mdis4g4%t% &
mdis1g1%t% < mdis5g5%t% & mdis1g1%t% < mdis6g6%t%) mtest%t% = 1 else if (mdis2g2%t% <
mdis1g1%t% & mdis2g2%t% < mdis3g3%t% & mdis2g2%t% < mdis4g4%t% & mdis2g2%t% < mdis5g5%t%
& mdis2g2%t% < mdis6g6%t%) mtest%t% = 2 else if (mdis3g3%t% < mdis1g1%t% & mdis3g3%t% <
mdis2g2%t% & mdis3g3%t% < mdis4g4%t% & mdis3g3%t% < mdis5g5%t% & mdis3g3%t% < mdis6g6%t%)
mtest%t% = 3 else if (mdis4g4%t% < mdis1g1%t% & mdis4g4%t% < mdis2g2%t% & mdis4g4%t% <
mdis3g3%t% & mdis4g4%t% < mdis5g5%t% & mdis4g4%t% < mdis6g6%t%) mtest%t% = 4 else if
(mdis5g5%t% < mdis1g1%t% & mdis5g5%t% < mdis2g2%t% & mdis5g5%t% < mdis3g3%t% & mdis5g5%t%
< mdis4g4%t% & mdis5g5%t% < mdis6g6%t%) mtest%t% = 5 else if (mdis6g6%t% < mdis1g1%t% &
mdis6g6%t% < mdis2g2%t% & mdis6g6%t% < mdis3g3%t% & mdis6g6%t% < mdis4g4%t% & mdis6g6%t% <
mdis5g5%t%) mtest%t% = 6
endif
&type Fin...
q
```

Anexo III. La siguiente tabla muestra las características de suelo de cada sitio de muestreo del área de estudio.

SITIOS DE MUESTREO	P mg/kg	Ca mg/kg	Mg mg/kg	Na mg/kg	K mg/kg	CII	pH	MO	ARENA	LIMO	ARCILLA	TEXTURA DEL SUELO
1	0.66	40.09	7.87	0.94	0.50	49.40	8.17	1.21	14.04	62.36	23.60	Franco-limoso
2	1.53	40.55	1.65	0.15	0.65	43.00	8.80	3.63	16.04	32.36	51.60	Arcilloso
3	12.91	35.41	2.81	0.28	1.33	39.82	8.05	6.05	60.04	26.36	13.60	Franco-arenoso
6	2.69	30.59	1.74	0.21	0.21	32.75	8.63	2.29	6.04	54.36	39.60	Franco-arcillo-limoso
7	5.58	36.03	2.18	0.71	1.96	40.88	8.28	2.96	42.04	36.36	21.60	Franco
8	2.69	37.53	3.50	0.14	0.54	41.71	8.56	4.30	40.04	28.36	31.60	Franco-arcilloso
9	18.99	38.74	5.60	0.67	4.38	49.40	7.77	9.01	50.04	30.36	19.60	Franco
10	7.03	33.25	3.89	0.48	2.06	39.69	8.47	6.32	46.40	34.36	19.24	Franco
11	6.16	31.00	5.25	0.26	0.98	37.49	8.66	3.09	36.40	40.36	23.24	Franco
12	4.14	31.73	2.82	0.30	1.31	36.17	8.45	2.02	64.40	2.36	33.24	Franco-arcillo-arenoso
13	23.34	31.30	2.75	0.24	0.87	35.17	8.59	2.42	38.40	52.36	9.24	Franco-limoso
14	11.96	31.35	3.77	0.31	0.95	36.39	8.60	0.40	20.40	52.36	27.24	Franco-arcilloso
15	0.95	26.60	4.37	0.22	0.70	31.88	8.62	1.34	24.40	36.36	39.24	Franco-arcilloso
16	1.82	29.04	3.00	0.01	0.19	32.23	8.52	2.69	30.40	40.36	29.24	Franco-arcilloso
17	4.43	32.38	3.06	0.25	1.10	36.79	8.18	5.38	22.40	52.36	25.24	Franco-limoso
18	4.72	30.80	2.36	0.34	1.05	34.56	8.30	3.77	44.40	26.36	29.24	Franco-arcilloso

19	5.87	30.46	5.09	0.33	1.60	37.49	8.37	2.82	20.40	58.36	21.24	Franco-limoso
20	4.14	31.87	2.63	0.17	0.61	35.28	8.40	5.38	32.40	30.36	37.24	Franco-arcilloso
21	0.22	35.48	2.58	0.27	1.24	39.58	8.19	6.72	52.40	20.36	27.24	Franco-arcillo-arenoso
22	5.01	29.20	1.65	0.12	0.35	31.33	8.48	2.02	28.40	58.36	13.24	Franco-limoso
23	5.58	30.29	1.30	0.12	0.49	32.20	8.27	3.90	42.40	28.36	29.24	Franco-arcilloso
24	5.29	30.76	1.69	0.16	0.75	33.36	8.23	6.05	45.36	24.00	30.68	Franco-arcillo-arenoso
25	6.16	33.43	2.45	0.19	0.76	36.83	8.30	3.90	37.32	34.00	28.68	Franco-arcillo
26	2.40	24.95	1.78	0.08	0.45	27.25	7.73	2.42	55.32	14.00	30.68	Franco-arcillo-arenoso
27	N.D	32.00	2.49	1.26	1.18	36.93	8.13	4.91	24.04	28.72	47.24	Arcilloso
30	9.35	70.44	3.91	0.36	1.02	75.73	8.38	7.53	35.32	40.00	24.68	Franco

*Datos analizados y proporcionados por el laboratorio central universitario del departamento de suelos de la UACH.

Anexo IV. Lista de especies vegetales registradas en campo en los transectos de muestreos en Zapotitlán Salinas, Puebla.

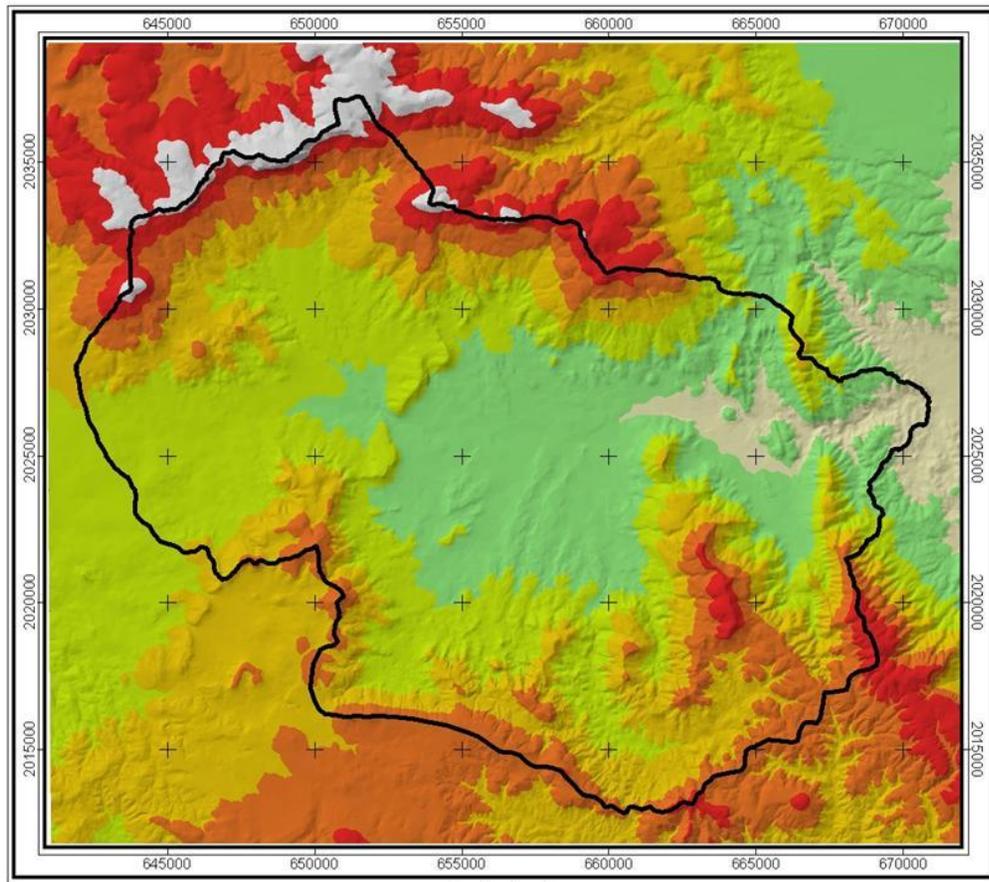
LISTA FLORISTICA	
ANACARDIACEAE	CACTACEAE
<i>Actinocheita filicina</i> (Sesse & Moc.)	<i>Cephalocereus columna-trajani</i> (Karw) K. Schum.
<i>Pseudosmodingium multifolium</i> Rose.	<i>Coryphanta pallida</i> Britton & Rose.
	<i>Echinocactus platyacanthus</i> Link & Otto.
AGAVACEAE	<i>Ferocactus flavovirens</i> Britton & Rose.
<i>Agave karwinskii</i>	<i>Ferocactus latispinus</i> spp. <i>latispinus</i> (Haw.) Britton & Rose
<i>Agave kerchovei</i>	<i>Ferocactus robustus</i> Britton & Rose
<i>Agave macroacantha</i>	<i>Mammillaria carnea</i> Zucc.
<i>Agave marmorata</i>	<i>Mammillaria compressa</i> DC.
<i>Agave roezliana</i>	<i>Mammillaria elegans</i> DC.
<i>Agave</i> sp.	<i>Mammillaria haageana</i> Pfeiffer.
<i>Yucca periculosa</i> Baker	<i>Mammillaria mystax</i> Mart.
	<i>Mammillaria sphaelata</i> Mart.
ACANTHACEAE	<i>Mammillaria viperina</i> J. A. Purpus.
<i>Anisacanthus gonzalezii</i> Greenm.	<i>Myrtillocactus geometrizans</i> var. <i>grandiareolatus</i> (H. Bravo) Backeb.
<i>Ruellia</i> sp.	<i>N. mezcal-macroceph</i>
	<i>Neobuxbaumia mezcalaensis</i> (H. Bravo) Backeb.
APOCYNACEAE	<i>Neobuxbaumia tetetzo</i> (Web. ex K. Sch.) Backeb.
<i>Plumeria rubra</i> L.	<i>Opuntia depressa</i> Rose.
	<i>Opuntia macdougaliana</i> Rose.
BORAGINACEAE	<i>Opuntia pilifera</i> Weber.
<i>Cordia cylindrostachya</i> Roem. & Schult	<i>Opuntia rosea</i> DC.
	<i>Opuntia tunicata</i> (Lehm) link & Otto
BROMELIACEAE	<i>Opuntia</i> sp.
<i>Hechtia</i> aff. <i>podantha</i>	<i>Lemaireocereus hollianus</i> (Weber) Buxbaum.
	<i>Stenocereus marginatus</i> (DC.) Berger & Buxbaum.
BURSERACEAE	<i>Stenocereus pruinosus</i> (Otto) Buxbaum.
<i>Bursera arida</i> Standl.	<i>Stenocereus stellatus</i> (Pfeiffer) Riccobono.
<i>Bursera hindsiana</i> Engl.	<i>Mitrocereus fulviceps</i> (F.A.C. Weber ex K. Schumann) Backeb. ex Bravo.
<i>Bursera</i> sp.	<i>Pilosocereus chrysacanthus</i> (Web) Byl. & Rowl.
CELASTRACEAE	LILIACEAE
<i>Schaefferia stenophylla</i> Standl.	<i>Beucarnea gracilis</i> Lem.
	<i>Dasyilirion acrotrichum</i> (Schiede) Zucc.
COMPOSITAE	MALPIGHIACEAE
<i>Senecio praecox</i> DC. Prod.	<i>Echinopterys eglandulosa</i> Small.
<i>Zexmenia gnaphaloides</i>	<i>Mascagnia seleriana</i> Loes.
<i>Zexmenia pringlei</i> Greem.	

LISTA FLORISTICA	
<i>Gymnosperma glutinosum</i> (Spreng.) Less	
<i>Viguiera triloba</i> (Gray) J. Olsen.	MALVACEAE
<i>Viguiera dentata</i>	<i>Hibiscus elegans</i> Standl.
No identificada I	RHAMNACEAE
No identificada II	<i>Karwinskia humboldtiana</i> Zucc.
CONVOLVULACEAE	RUBIACEAE
<i>Ipomoea arborescens</i> Sweet.	<i>Coutarea latifolia</i> Moc. & Sessé.
CRASSULACEAE	RUTACEAE
<i>Sedum dendroideum</i> Moc. & Sesse.	<i>Megastigma galeotti</i> Baill.
<i>Echeveria</i> sp.	
ERYTHROXYLACEAE	SAPINDACEAE
<i>Erytroxylum</i> sp.	<i>Cardiospermum halicacabum</i> Linn.
EUPHORBIACEAE	SCROPHULARIACEAE
<i>Cnidoscolus tehuacanensis</i> Breckon.	<i>Leucophyllum pringlei</i> Standl.
<i>Croton ciliato-glandulosus</i> Ortega.	SIMAROUBACEAE
<i>Jatropha spathulata</i> Muell. Arg.	<i>Castela tortuosa</i> Liebm.
<i>Pedilantus aphyllus</i> Boiss.	
<i>Manihot</i> sp.	SOLANACEAE
<i>Ditaxis</i> sp.	<i>Lycium</i> sp
FOUQUIERIACEAE	TURNERACEAE
<i>Fouquieria formosa</i> H. B. & K.	<i>Turnera difussa</i> Willd ex Schult
LEGUMINOSAE	ULMACEAE
<i>Acacia constricta</i> Benth, A. Gray.	<i>Celtis pallida</i> Torr.
<i>Acacia subangulata</i> Rose.	
<i>Aeschynomene americana</i> Linn.	VERBENACEAE
<i>Caesalpinia melanadenia</i> Standl	<i>Lantana camara</i> Linn.
<i>Cassia pringlei</i> Rose.	<i>Lantana</i> sp.
<i>Cercidium praecox</i> Harms.	<i>Lippia graveolens</i> H.B. & K.
<i>Lysiloma aurita</i> Benth.	<i>Lippia</i> sp.
<i>Mimosa luisiana</i> Brandg.	
<i>Mimosa polyantha</i> Benth.	NO IDENTIFICADAS
<i>Prosopis laevigata</i> Willd	No identificada III
<i>Dalea</i> sp.	No identificada IV
ZIGOPHYLACEAE	No identificada V
<i>Morkillia mexicana</i> Rose & Painter.	No identificada VI
	FORMAS DE VIDA* En el anexo I se hace referencia a las formas de vida (FV).

LISTA FLORISTICA	
	*FV10
	*FV12
	*FV13
	*FV14
	*FV15

Anexo IV. Mapas temáticos

a) Mapa de Altitudes



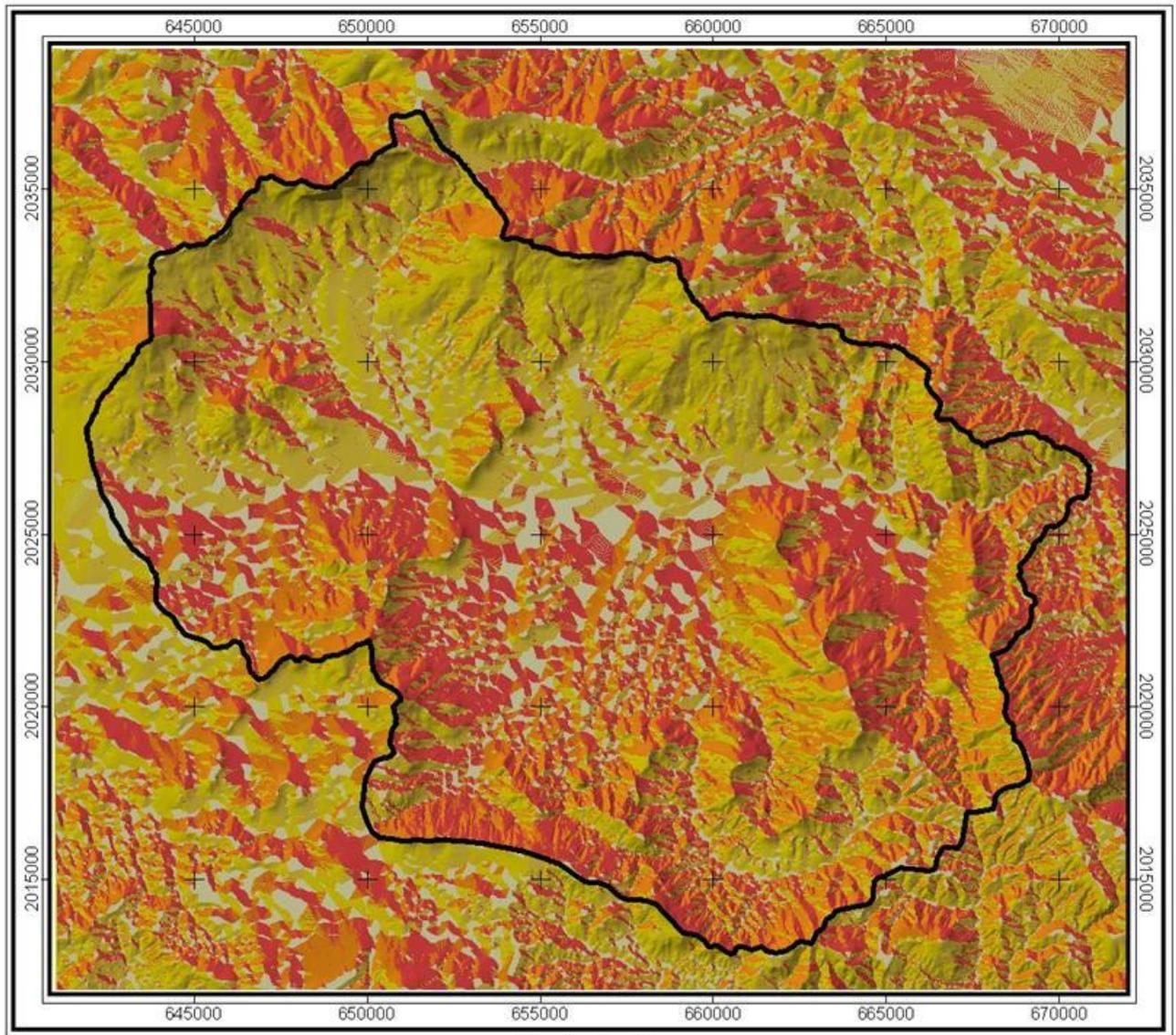
Simbología

 Subcuenca de Zapotitlan

Altitudes

	1260 - 1460		2060 - 2260
	1460 - 1660		2260 - 2460
	1660 - 1860		2460 - 2760
	1860 - 2060		

b) Mapa de Orientación de Ladera



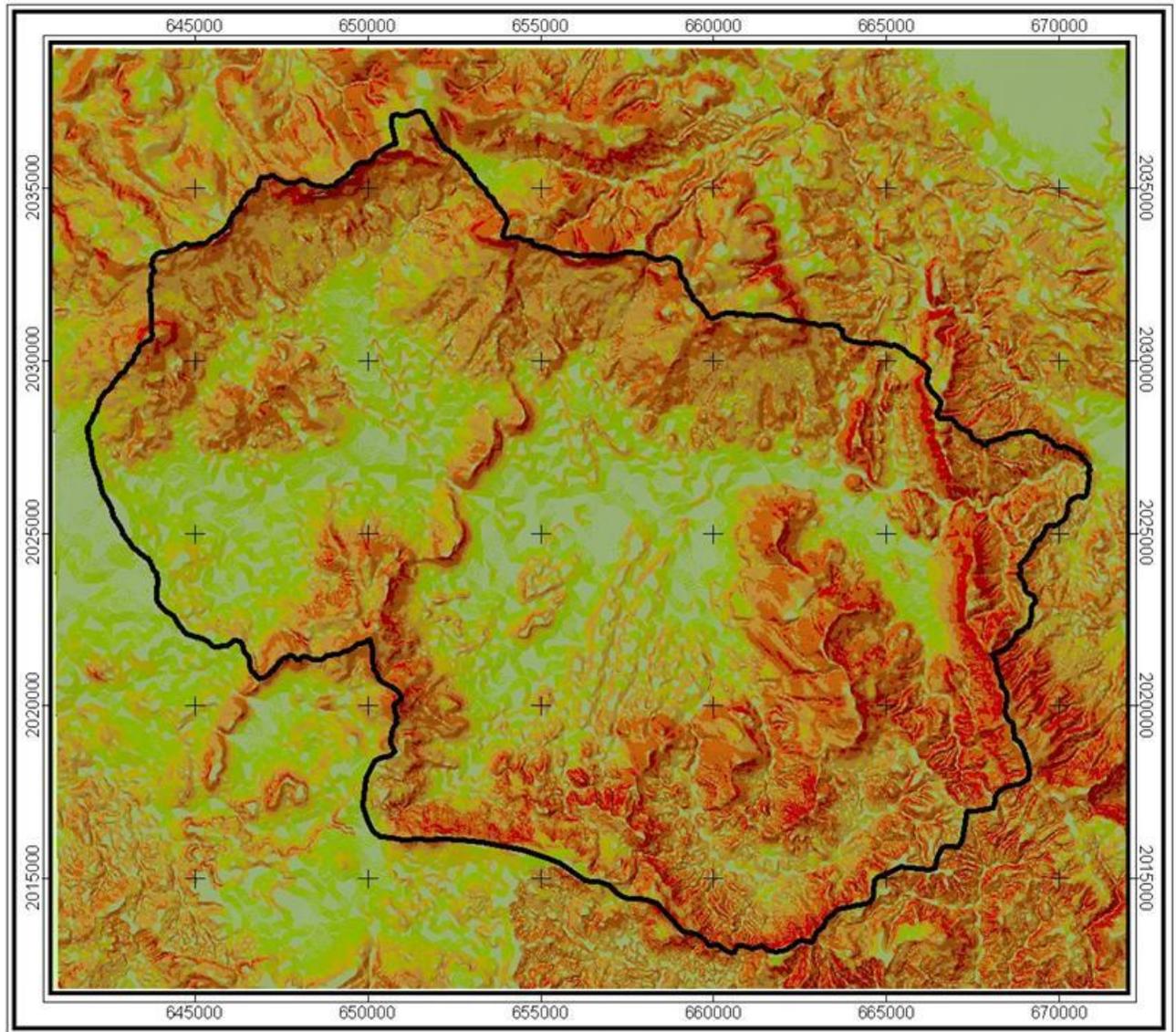
Simbología

 Subcuenca de Zapotitlan

Orientación de Ladera

 NE	 NW
 SE	 Plano
 SW	

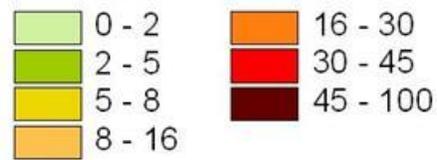
c) Mapa de Pendientes



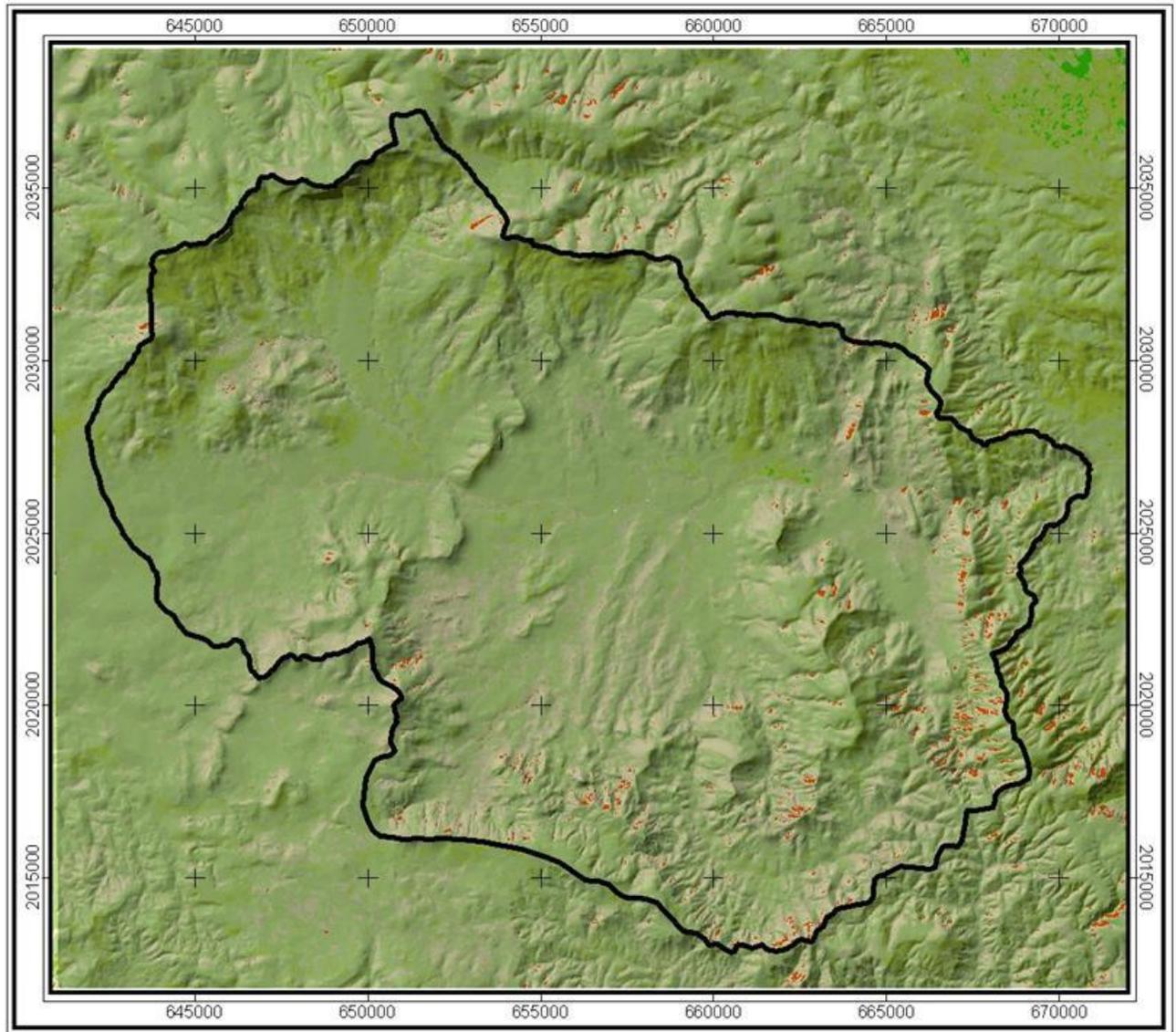
Simbología

 Subcuenca de Zapotitlan

Pendientes %



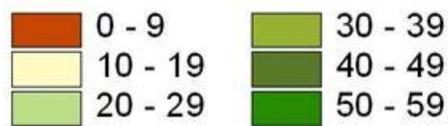
d) Mapa de Fracción de Terreno Cubierto con Vegetación



Simbología

 Subcuenca de Zapotitlan

Fracción de Terreno cubierta con vegetación %



Anexo V. Clasificación de los 110 sitios de muestreo para validar la clasificación numérica de las unidades de vegetación.

ID	UNIDAD VEGETAL	VALORES EN EL MAPA	ACIERTOS	ACIERTOS POR COMBINACION DE UNIDADES VEGETALES				NO DUPLICACIONES
				T-MT	C-MC	C-T-MTC	M-MT-MC-MTC	
1	2	5	0	0	0	0	0	0
2	2	6	0	0	0	1	0	1
3	2	3	0	0	0	0	0	0
4	2	4	0	1	0	0	0	1
5	2	4	0	1	0	0	0	1
6	2	4	0	1	0	0	0	1
7	2	4	0	1	0	0	0	1
8	3	1	0	0	0	0	0	0
9	4	3	0	0	0	0	0	0
10	1	5	0	0	1	0	0	1
11	3	3	1	0	0	0	0	0
12	1	6	0	0	0	1	0	1
13	5	6	0	0	0	0	0	0
14	5	6	0	0	0	0	0	0
15	5	2	0	0	0	0	0	0
16	3	1	0	0	0	0	0	0
17	2	1	0	0	0	0	0	0
18	2	1	0	0	0	0	0	0
19	2	4	0	1	0	0	0	1
20	5	4	0	0	0	0	0	0
21	5	6	0	0	0	0	0	0
22	1	4	0	0	0	0	0	0
23	1	4	0	0	0	0	0	0
24	5	2	0	0	0	0	0	0
25	4	5	0	0	0	0	0	0
26	6	6	1	0	0	0	0	0
27	3	1	0	0	0	0	0	0
28	4	5	0	0	0	0	0	0
29	4	4	1	0	0	0	0	0
30	2	6	0	0	0	1	0	1
31	3	6	0	0	0	0	1	1
32	3	6	0	0	0	0	1	1
33	3	4	0	0	0	0	1	1
34	3	3	1	0	0	0	0	0
35	1	5	0	0	1	0	0	1
36	1	4	0	0	0	0	0	0
37	4	4	1	0	0	0	0	0

38	5	5	1	0	0	0	0	0
39	3	6	0	0	0	0	1	1
40	3	2	0	0	0	0	0	0
41	3	2	0	0	0	0	0	0
42	6	6	1	0	0	0	0	0
43	6	6	1	0	0	0	0	0
44	1	6	0	0	0	1	0	1
45	1	2	0	0	0	0	0	0
46	3	5	0	0	0	0	1	1
47	3	1	0	0	0	0	0	0
48	3	6	0	0	0	0	1	1
49	3	5	0	0	0	0	1	1
50	2	1	0	0	0	0	0	0
51	1	5	0	0	1	0	0	1
52	2	6	0	0	0	1	0	1
53	3	2	0	0	0	0	0	0
54	6	5	0	0	0	0	0	0
55	3	4	0	0	0	0	1	1
56	3	4	0	0	0	0	1	1
57	5	6	0	0	0	0	0	0
58	4	6	0	0	0	0	0	0
59	5	4	0	0	0	0	0	0
60	1	5	0	0	1	0	0	1
61	1	5	0	0	1	0	0	1
62	4	4	1	0	0	0	0	0
63	4	3	0	0	0	0	0	0
64	4	3	0	0	0	0	0	0
65	6	5	0	0	0	0	0	0
66	3	3	1	0	0	0	0	0
67	3	3	1	0	0	0	0	0
68	4	3	0	0	0	0	0	0
69	3	3	1	0	0	0	0	0
70	1	3	0	0	0	0	0	0
71	1	4	0	0	0	0	0	0
72	2	4	0	1	0	0	0	1
73	1	2	0	0	0	0	0	0
74	1	5	0	0	1	0	0	1
75	3	3	1	0	0	0	0	0
76	5	4	0	0	0	0	0	0
77	3	3	1	0	0	0	0	0
78	2	3	0	0	0	0	0	0
79	3	3	1	0	0	0	0	0
80	3	4	0	0	0	0	1	1
81	4	2	0	0	0	0	0	0
82	2	2	1	0	0	0	0	0

83	3	2	0	0	0	0	0	0
84	6	3	0	0	0	0	0	0
85	4	6	0	0	0	0	0	0
86	4	5	0	0	0	0	0	0
87	3	6	0	0	0	0	1	1
88	1	5	0	0	1	0	0	1
89	4	6	0	0	0	0	0	0
90	1	1	1	0	0	0	0	0
91	3	2	0	0	0	0	0	0
92	2	4	0	1	0	0	0	1
93	1	3	0	0	0	0	0	0
94	4	4	1	0	0	0	0	0
95	4	2	0	0	0	0	0	0
96	2	3	0	0	0	0	0	0
97	3	2	0	0	0	0	0	0
98	5	2	0	0	0	0	0	0
99	3	3	1	0	0	0	0	0
100	1	5	0	0	1	0	0	1
101	3	2	0	0	0	0	0	0
102	4	3	0	0	0	0	0	0
103	4	4	1	0	0	0	0	0
104	4	4	1	0	0	0	0	0
105	6	6	1	0	0	0	0	0
106	2	2	1	0	0	0	0	0
107	6	6	1	0	0	0	0	0
108	4	4	1	0	0	0	0	0
109	6	5	0	0	0	0	0	0
110	1	1	1	0	0	0	0	0
TOTALES			26	7	8	5	11	31
PORCENTAJE DE PUNTOS CORRECTAMENTE ASIGNADOS			0.236364					0.518181818

El jurado designado por la
División de Ciencias Biológicas y de la Salud
De la Unidad Iztapalapa aprobó la tesis que presentó

Biól. Esther Sandoval Palacios

El día 09 de abril del año 20010

Comité Tutorial y Jurado

Tutor: Dr. José Alejandro Zavala Hurtado



Asesor: Dr. Pedro Luis Valverde Padilla

Asesor: Dr. Franz E. Mora Flores

Sinodal: M en C. Francisco González Medrano



Sinodal: Dr. Miguel Ángel Armella Villalpando



Sinodal: M. en C. Gerardo López Ortega

