

00376



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

---

**POSGRADO EN CIENCIAS  
BIOLÓGICAS  
FACULTAD DE CIENCIAS**

**EVALUACIÓN DEL CAMBIO DE USO Y  
SU IMPACTO EN SUELOS  
FORESTALES EN EL VOLCÁN  
CITLALTÉPETL, PUEBLA.**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS  
(ECOLOGIA Y CIENCIAS AMBIENTALES)**

P R E S E N T A

**ANGELICA DEL CARMEN RUIZ FONT**

DIRECTORA DE TESIS: DRA. MARIA DE LOURDES VILLERS RUIZ

MÉXICO, D.F.

MAYO, 2004



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

## Evaluación del cambio de uso del suelo y su impacto en suelos forestales en el volcán Citlaltépetl Puebla

### Resumen

La vertiente noroccidental del volcán Citlaltépetl o Pico de Orizaba presenta características climáticas y edáficas que permiten identificar y caracterizar comunidades vegetales en los diferentes intervalos altitudinales. La vegetación esta formada por bosques de coníferas (oyamel y pino) y latifoliadas. Los principales productos agrícolas son maíz, papa y haba, entre otros. Estas áreas agrícolas son el resultado del cambio de uso del suelo debido a la tala, la cual se intensificó en la década de los años treinta.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la disminución de la cubierta vegetal en la vertiente noroccidental del Citlaltépetl en el periodo de 1975 a 1995, así como medir los impactos de este cambio de uso del suelo reflejado en un cambio de las propiedades físicas y químicas del suelo.

El análisis fue realizado a dos niveles complementarios:

- Regional, que abarcó los siguientes municipios del Estado de Puebla: Cd. Serdán, Tlachichuca y Atzitzintla; en los que se cuantificó por fotointerpretación la reducción de la cubierta vegetal en un área de 50, 000 ha, identificando las zonas de cambio en un periodo de 20 años (1975-1995). Con estos datos se obtuvo la tasa de pérdida de vegetación, y un análisis regional socioeconómico de producción agrícola.
- Local, para el municipio de Tlachichuca, en el que se elaboró un mapa de uso del suelo reciente (con fotografías aéreas de 1995), identificando 3 comunidades vegetales, bosque de pino, bosque mixto y bosque de oyamel. A partir de esta clasificación se seleccionaron los sitios forestales (pino, oyamel y mixto) que fueran colindantes a áreas agrícolas que a su vez hubieran sostenido alguno de los tres tipos de bosque. En estos sitios se hicieron los muestreos edáficos (20 en total). En las comunidades a las que pertenecen las áreas de muestreo edáfico se llevaron a cabo 101 encuestas para conocer las técnicas agrícolas usadas en el cambio de uso del suelo.

Con el fin de establecer diferencias entre las propiedades de suelos agrícolas y forestales, para muestras de suelo colectadas se obtuvo: densidad aparente, densidad real, porosidad, textura, pH, materia orgánica, nitrógeno, capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables (Ca, Mg, Na y K) y a los resultados se aplicó un análisis de varianza y un análisis multivariado (ordenación).

La tasa de cambio de uso fue irregular para los tres municipios, los resultados muestran que la pérdida de vegetación en 20 años fue de 2.2%, con una tasa de deforestación del 0.14% anual. En el estudio particular del municipio de Tlachichuca, la vegetación que mayor impacto tuvo en cuanto a deforestación, fue el bosque de pinos ya que los terrenos que ocupan son preferidos para el desmonte ya que son los más productivos, por tener menor pendiente. Los suelos con mayor impacto son los del bosque de oyamel que presentan una pérdida del 60% de materia orgánica, seguido por los suelos de bosque de pino con una pérdida del 40%. De las propiedades físicas la más afectada fue la densidad aparente, siendo más alta en suelos agrícolas que en suelos forestales.

Cada tipo de vegetación presentó diferente susceptibilidad al cambio de uso y por lo tanto una respuesta distinta a la transformación de bosque a zona agrícola. Los bosques de pino tienen mayor capacidad edáfica para la retención de nutrientes, lo cual esta muy relacionado con el contenido de materia orgánica del suelo. Por el contrario el suelo del bosque de oyamel, debido a las características del medio físico en el cual se desarrolla (fuertes pendientes), es más dinámico y con una menor capacidad de retención de nutrientes, por lo que estos sitios pierden más rápido sus propiedades y son más vulnerables al cambio.

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

NOMBRE: Angelica del Carmen

Ruiz Font

FECHA: 09/Junio/04

FIRMA: Angel M. Font

**A Nieves, César y Paco**

## Agradecimientos

La elaboración de esta investigación ha involucrado a muchas personas, su ayuda fue variable en cada caso, pero en todos tuvo relación directa con el trabajo. Así deseo expresarles mi agradecimiento sin que ello implique dividir la responsabilidad que descansa exclusivamente en la autora.

En primer lugar quiero destacar la oportunidad que me ofreció la Facultad de Ciencias y el Instituto de Geografía de la UNAM, al dedicarme un espacio y un proyecto. Con toda su academia y en especial con mi asesora con quien tuve excesiva confianza para importunarle solicitando atención para mi proyecto, le estoy agradecida.

La metodología desarrollada en el campo estuvo en gran parte apoyada por los biólogos: Alejandro Rojas, Elizabeth Jiménez, Esperanza Álvarez y Alejandro Ramos, la digitalización e mapas en Ciencias de la tierra de la UAP por el Ing. Edgardo Torres y finalmente en el laboratorio de suelos del DICA-ICUAP por el Quím. Cesar Calderón. Todos ellos contribuyeron a clarificar los puntos de interés y focos de estudio. Con ellos estoy en viejas deudas....

La edición de mapas estuvo a cargo del biólogo Carlos Ruiz. Otras discusiones menores sobre fragmentos específicos de la metodología y los resultados fueron hechas por Marco Antonio Espinosa, Javier Salgado y el Ing. Amado Rivera de quien agradezco sus opiniones.

A los revisores; las Doctoras Consuelo Bonfil, Lucía Almeida, Irma Trejo y Lourdes Villers y a las Maestras (os) Irene Sommer, Estela Carmona y Miguel A. Valera; quienes se dedicaron a la lectura, interpretación y crítica del texto y a quienes agradezco su valioso tiempo.

Los estudiantes de biología y del posgrado de la Facultad de Ciencias que no escribo sus nombres para no omitir alguno, quienes estuvieron involucrados en discusiones a lo largo de los cursos, debiéndoles en buena parte la evaluación y juicios con los que ahora cuento, recordándoles con cariño. Agradezco especialmente al Biol. Sergio Rubén Trejo Estrada de quien siempre he recibido ayuda invaluable a lo largo de la escritura de este trabajo.

Este trabajo pudo llevarse a cabo gracias al apoyo que el Consejo Nacional de Ciencia Tecnología otorgó al proyecto K118-B, "Evaluación del impacto agropecuario y su relación con el deterioro forestal en el Pico de Orizaba".

Finalmente quiero manifestarles mi agradecimiento a los profesores de la academia de la Facultad de Ciencias de la UNAM, que aunque la mayoría no tuvo que ver con este proyecto, siempre supe que era una instancia a la que podía recurrir en busca de asistencia y conocimiento como lo hice en todo este tiempo.

## Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2 . Antecedentes</b>	<b>3</b>
2.1 La deforestación	
2.2 Una antigua historia en México	
2.3 México y los bosques	
2.4 Principales causas de cambio de uso	
2.5 La deforestación y las consecuencias para los suelos forestales	
2.6 Aspectos en el cambio de uso del suelo: el estudio de parches.	
2.7 Relación bosque - suelo	
<b>3.Área de estudio</b>	<b>11</b>
3.1 Localización	
3.2 Fisiografía	
3.3 Hidrología	
3.4 Clima	
3.5 Origen geológico y suelos	
3.6 Vegetación y uso actual	
3.7 Fauna	
3.8 Tenencia	
<b>4. Objetivos</b>	<b>20</b>
4.1 Objetivos	
<b>5. Métodos</b>	<b>22</b>
5.1 Esquema de trabajo	
5.2 Trabajo documental	
5.3 Fotointerpretación	
5.4. Análisis de uso de suelo a escala local	
5.5 Selección de sitios y colecta de muestras edafológicas	
5.6 Análisis de laboratorio	
5.7 Análisis de la información	
5.8. Relación suelo- comunidad forestal/agrícola	
<b>6. Resultados y Discusiones</b>	<b>28</b>
6.1. Historia del uso del suelo en las faldas del Volcán Pico de Orizaba	
6.2 Tasa de cambio de uso del suelo en 20 años	
6.3 Actividades productivas en el Citlaltépetl	
6.3.1 Análisis Municipal: Tlachichuca	
6.4. Asociaciones vegetales y uso del suelo	
6.5. Distribución agroecológica	

- 6.6 Evaluación edáfica
  - 6.6.1 Características analíticas del Horizonte "A" en los suelos del Pico de Orizaba
- 6.7. Transformación de los bosques y la pérdida de nutrientes
- 6.8 Relación suelo - comunidad vegetal forestal/agrícola

<b>7. Conclusiones</b>	<b>75</b>
<b>8. Bibliografía</b>	<b>77</b>

### Índice de tablas

Tabla 1.	Tendencias de deforestación seguidas en el Inventario Nacional Forestal
Tabla 2.	Estimaciones de la cubierta de diferentes bosques templados en México
Tabla 3.	Medias de temperatura y precipitación de las estaciones cercanas a la zona de estudio
Tabla 4.	Vertebrados de los bosques templados
Tabla 5.	Distribución de la tenencia por municipio.
Tabla 6.	Ejidos dedicados al uso del bosque por municipio
Tabla 7.	Características de las fotografías aéreas utilizadas.
Tabla 8.	Numero de sitios propuestos para el análisis edáfico.
Tabla 9.	Distribución den superficie ejidal, boscosa y de labor.
Tabla 10	Comunidades que se ubican por encima de 2600m en la zona del Citlaltépetl, Puebla.
Tabla 11.	Habitantes y número de familias en las comunidades montanas de Tlachichuca, Puebla
Tabla 12.	Cultivos en el ejido del Cajón, Municipio de Tlachichuca, Puebla.
Tabla 13.	Cultivos en el ejido La Jicara, Municipio de Tlachichuca, Puebla.
Tabla 14 .	Cultivos en el ejido Puerto Nacional, Municipio de Tlachichuca, Puebla.
Tabla 15 .	Cultivos en el ejido Miguel Hidalgo, Municipio de Tlachichuca, Puebla.
Tabla 16.	Nivel de estudios en porcentaje para cada comunidad.
Tabla 17.	Superficie ocupada por cada clase de uso del suelo en Tlachichuca, Puebla
Tabla 18.	Ubicación de los sitios de muestreo edáfico por tipo de vegetación.
Tabla 19.	Unidades de uso analizadas en este trabajo y su abreviatura.
Tabla 20.	Resumen de cationes intercambiables.
Tabla 21.	Clasificación de los valores de del porcentaje de carbono y nitrógeno
Tabla 22.	Media y desviación estándar de los parámetros físicos y químicos medidos en suelos forestales y en su contraparte agrícola.
Tabla 23.	Niveles de significación (valor de p) en las diferencias entre valores promedio de los parámetros edáficos en el horizonte superficial de bosque y cultivo. Prueba de Kruskall-Wallis
Tabla 24.	Porcentaje de ganancia (+) o perdida(-), debido a la transformación a agricultura, según tipo de vegetación.
Tabla 25.	Resumen del análisis de correspondencia canónico (ACC).
Tabla. 26.	Resumen de varianza explicada por cada variable dentro del modelo.
Tabla 27.	Matriz de correlación ponderada (con base en el total de la muestra) para el Eje Ambiental (EA) 1 y 2, eje de especies (EE) 1 y 2 con las variables ambientales significativas.

### Índice de figuras

- Figura 1. Mapa de ubicación de Parque Nacional Pico de Orizaba
- Figura 2. Gráficas ombrotérmicas del municipio de Cd. Serdán, Tlachichuca y Atzitzintla, Estado de Puebla.
- Figura 3. Diagrama metodológico
- Figura 4. Reconstrucción vegetal siglo XIX
- Figura 5. Ubicación haciendas y comunidades que se localizan a mayor altura, Volcán Citlaltépetl.
- Figura 6. Mapa de cambio de uso en 20 años en la zona del Citlaltépetl, Puebla.
- Figura 7. Gráficas de la evolución de la superficie de temporal, superficie boscosa y superficie ganadera en Atzitzintla, Cd. Serdán y Tlachichuca, Puebla para tres fechas.
- Figura 8. Ejidos del Municipio de Tlachichuca que se ubican por encima de los 2600 m
- Figura 9. Comunidad El Cajón Oyamecalco, Tlachichuca, Puebla.
- Figura 10. Mapa de uso del suelo y vegetación para Tlachichuca, Puebla, 1995.
- Figura 11. División esquemática mostrando la distribución altitudinal de la vegetación natural y de las zonas agrícolas y pecuarias en el Citlaltépetl, Puebla
- Figura 12. Cultivos de maíz y el bosque mixto en comunidad Paso Nacional, Tlachichuca, Puebla.
- Figura 13. Cultivos de papa y haba en donde hubo bosques de Pino, Comunidad Miguel Hidalgo.
- Figura 14. Cultivos de haba donde hubo Oyameles, comunidad Miguel Hidalgo, Tlachichuca, Puebla
- Figura 15. Mapa que muestra la ubicación de los sitios de muestreo edáfico, Municipio de Tlachichuca, Puebla
- Figura 16. Porcentaje de arena, limo y arcilla en diferentes unidades de uso.
- Figura 17. Cantidad de calcio (meq/100gr de suelo) en los diferentes usos de suelo en el Citlaltépetl, Puebla.
- Figura 18. Porcentaje de materia orgánica en los diferentes usos de suelo, en el Citlaltépetl, Puebla
- Figura 19. Porcentaje de nitrógeno en los diferentes usos de suelo en el Citlaltépetl, Puebla
- Figura 20. Diagrama de ordenación que muestra los sitios forestales de pino, oyamel y bosque mixto y su contraparte agrícola, a partir de datos florísticos y características de suelos

## **Anexos**

- Anexo 1. Características de un perfil edáfico de la zona de estudio
- Anexo 2. Formato de encuesta
- Anexo 3. Descripción de sitios donde se colectó muestras de suelo
- Anexo 4. Gráficas de los análisis físicos y químicos de suelos
- Anexo 5. Tabla de especies vegetales encontradas en el Pico de Orizaba

## 1. Introducción

Existen diferentes grados de alteración de las comunidades naturales que constituyen un ecosistema, que van desde la simple explotación de algunos de sus recursos vegetales y animales, que conduce a cambios en los parámetros demográficos de las especies explotadas, hasta la destrucción radical de las comunidades y del suelo en que se desarrollan, lo que provoca en algunos casos erosión extrema. La pirámide trófica que caracteriza a un ecosistema puede ser fácilmente alterada sin que a primera vista se aprecie un daño sobre la comunidad viviente, pero en el largo plazo los efectos pueden incluir modificaciones en la estructura de las comunidades.

La eliminación total o parcial de la cubierta vegetal (ya sea con el propósito de explotar los recursos naturales o de abrir nuevas tierras para uso agrícola o pastoril) es una práctica primaria en la acción colonizadora del hombre. La desaparición de la vegetación arbórea resulta más fácil de apreciar y evaluar como forma de deterioro de las comunidades naturales, ya que el paisaje cambia radicalmente sobre extensas áreas (Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1989).

A pesar de la importancia del recurso forestal, existen pocos y distintos datos sobre la deforestación en México. La tasa de deforestación ha sido evaluada por diferentes autores, estimada entre 400,000 y 1,500,000 ha/año (FAO, 1995), y el país se encuentra en el cuarto lugar a escala mundial. A nivel internacional la deforestación motiva serias controversias ecológicas relacionadas al cambio climático global e incluso se ha afirmado que "pone en riesgo la seguridad alimentaria y la continuidad de la vida" (Anónimo, Agenda 21 de la Cumbre de Río, 1992).

Además de las discrepancias en las estimaciones, existe poca información sobre el uso dado a las áreas deforestadas y sus características ambientales, así como sobre la importancia y los mecanismos por los que operan los distintos factores que influyen en este fenómeno.

Varios autores han investigado las relaciones que existen entre deforestación y algunos factores ecológicos y socioeconómicos. Skole (1994) estudió la correlación entre población y deforestación en Brasil y encontró que el crecimiento de la población no era la principal causa de deforestación. Hetch y Cockburn (1989) creen equivocado el intento de explicar la degradación ambiental únicamente con base en la demografía, consideran el crecimiento de la población más como una consecuencia de la pobreza y la degradación del medio ambiente que como una causa. A nivel más local Sader (1995) estudió las relaciones entre deforestación y factores como pendiente y cercanía a asentamientos humanos y a carreteras y concluye que la presencia de vías de comunicación es un factor muy importante. Arizpe *et al.*, (1993) enfocan su estudio a los factores socioeconómicos que se relacionan con la deforestación. La gran mayoría de los autores

conducen a considerar que la deforestación es un fenómeno donde intervienen de manera muy compleja factores tanto ecológicos como socioeconómicos.

Los bosques de las zonas montañosas de México han experimentado en las últimas décadas, procesos de extracción de madera y el consecuente cambio de uso del suelo. Los bosques ubicados en el Pico de Orizaba o Citlaltepel, volcán más alto de México no son la excepción. Por esta razón en este trabajo se analiza la pérdida de vegetación en los bosques y el cambio de uso del suelo en una zona que fue fuertemente impactada a mediados del siglo pasado.

La presente tesis está estructurada en siete capítulos. Los dos primeros describen los antecedentes de este trabajo. El capítulo tercero describe el área de estudio, localización, climatología, vegetación.

El cuarto son los objetivos que incluyen un planteamiento del problema que se trató de abordar durante el desarrollo de esta investigación. El capítulo quinto describe ampliamente la metodología que se usó durante el trabajo. El capítulo sexto son todos los resultados con lo referente a la historia de uso y estos datos dan pie a los siguientes resultados que muestran el avance de la frontera agrícola durante 20 años. La siguiente sección describe el ambiente socioeconómico en el que se encuentra inmersa la región del Citlaltépetl. Con estas tres temáticas se da un diagnóstico generalizado. En la sección 6.4 se describe la cobertura vegetal y el uso del suelo, lo que da elementos para el análisis edafocológico de algunas comunidades del municipio de Tlachichuca. Las siguientes secciones de resultados analizan los cambios mediante el uso de sistemas multivariados.

Finalmente se presentan las conclusiones, la bibliografía utilizada en este trabajo y un Anexo de mapas, diagramas, figuras y tablas.

## 2. Antecedentes

### 2.1 Los bosques en el México actual

En las diferentes porciones intertropicales del mundo, los sistemas montañosos se caracterizan por tener condiciones muy particulares, presentando un gradiente estructural y funcional de las diversas comunidades vegetales que se destruyen a lo largo del gradiente altitudinal (Mueller-Dombois y Elleberg, 1974). Lo anterior se refleja en los ecosistemas presentes en las montañas y volcanes, en donde se encuentran los bosques templados.

De acuerdo con la definición de Rzedowski (1978), el bosque de coníferas incluye como subtipos de vegetación a los bosques de oyamel, de pino y de pino-encino; y estos subtipos, más el bosque cultivado, están identificados desde 1988 en los mapas del INEGI.

México tiene mayor diversidad de pinos que cualquier otro país, ya que cuenta con el 45.5% (43 especies) del total de especies de pinos conocidas a nivel mundial. Las áreas con mayor número de especies y subespecies de este género son la Sierra Madre Occidental, el Eje Neovolcánico, la Mesa Central, la Sierra Madre del Sur y el Macizo de Oaxaca. Específicamente las mayores áreas forestales, junto con la mayor diversidad de pinos, se encuentran en los estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas y otras zonas boscosas en Jalisco, Chihuahua, Michoacán, México, Hidalgo y Puebla que pueden tener hasta 20 especies en una misma zona (Styles, 1993 y Farjon, 1996).

A pesar de su interés económico y de que se encuentran bien representados en áreas naturales protegidas, los bosques de coníferas están amenazados debido a la extracción forestal inadecuada, a los desmontes masivos, al pastoreo libre y a los incendios (Flores-Villela y Gérez, 1994), aún en áreas naturales protegidas.

Contrariamente a lo que se podría pensar, en México el sector forestal no tiene una gran importancia económica. Contribuye con poco menos del 1% del producto interno bruto y su importancia tiende a decrecer por una baja interna en la producción, así como por una mayor producción industrial y de servicios. Sin embargo, la importancia de los bosques no se puede valorar solamente en términos económicos; se debe tomar en cuenta la multiplicidad de sus funciones; principalmente en relación a los servicios ambientales que presta. Como lugar de asentamientos de las comunidades campesinas, ya que según datos de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos señalan que 17 millones de personas viven en las áreas forestales. Los ingresos forestales son en algunos casos la forma de continuar con la actividad de la milpa básica para la seguridad de la alimentación; en otros, el contar con un ingreso seguro y un lugar donde regresar, lo que le permite a los hijos de los ejidatarios y comuneros aventurarse en busca de trabajo en otras comunidades (Chapela, 1996).

## 2.2 Una antigua historia de uso de los bosques en México

En Mesoamérica se desarrolló una cultura cuya tecnología se basó en el uso primario de los productos vegetales, entre los que destaca la madera. Ésta se utilizó principalmente para la construcción de casas, fabricación de armas, artesanías, implementos domésticos, religiosos y como combustible para cocinar alimentos, fundir metales y cocer productos de cerámica. Fuentes históricas indican que ya en épocas prehispánicas, aún cuando el recurso era abundante, tuvo que ser legislada la extracción de madera por el Rey Netzahualcóyotl, quien para impedir la destrucción de los bosques puso límites a los leñadores, cuya infracción era penada severamente (Ortega, 1992).

En la etapa colonial, los españoles expidieron el primer ordenamiento de carácter forestal, donde se establece que los montes y frutos silvestres eran comunes a los indios. En 1541 el emperador de la Nueva España dictó que el uso de los pastos, los montes y las aguas fueran comunes a los indios y a los españoles, con esto los españoles tenían derecho al uso del monte y a cualquier recurso natural en forma ilimitada (Wagner y Lenz, 1948).

El desarrollo industrial de esa época impulsó la minería, los ingenios azucareros y la industria textil, que utilizaban como fuente energética a la madera. Era tanta la que se empleaba para leña y fabricar carbón, que en 1519 se estableció la "obligación de hacer los cortes de los montes en épocas convenientes a la duración y firmeza de las maderas y que los indios pueden cortar la madera libremente siempre que al talarse no se impida el nacimiento y aumento de los bosques". Ya más o menos establecida la Colonia los dueños de la tierra eran los españoles y cuando en 1618 se definió el derecho de propiedad forestal se limitaron los derechos de los indios, ya que el ordenamiento decía "satisfacer sus necesidades de productos de bosque sin invadir la propiedad privada". Además en 1622 la Corona se reserva la explotación de la madera de caoba, cedro, roble y pino, entre otras (Ortega, *op cit*).

En parte la historia del país está muy relacionada con los bosques, en virtud de que las comunidades indígenas se asentaron en las tierras que no fueron acaparadas por las grandes haciendas o ranchos ganaderos, ni por las haciendas agrícolas que ocuparon las mejores tierras planas. Así las tierras de indios eran clasificadas como "eriazos", ya que su valor era de poca monta por las condiciones de comunicación y tecnología de la época. En este origen encontramos la causa de que a la fecha cuatro quintas partes de la superficie forestal nacional estén en manos de comuneros y ejidatarios (Ortega, *op cit*).

## 2.3 La deforestación en México

La superficie total de las zonas boscosas en México es de 28,282,000 ha., lo cual equivale al 14% del país. Para 1980 en estas zonas boscosas se encontraba más de la mitad de la población del país, incluyendo ciudades como México, Toluca y Puebla. Del total de los bosques el 15% (más de 4 millones ha) se han

transformado en tierras abiertas al cultivo, lo que representa el 20% de la agricultura nacional (Challenger, 1998).

En la Tabla 2, se presenta información resumida sobre el área que cubre los bosques templados de México, según diversos autores:

**Tabla 2.** Estimaciones de la cubierta de diferentes tipos de bosque en México. Área (10<sup>3</sup> ha) (Basado en Dirzo *et al.*, 1992 y modificado por Ruiz-Font A.)

Tipo de vegetación	SPP 1980	SARH 1986	Flores 1988	Toledo 1989	Castillo 1989	García 1991	Dirzo 1992	INEGI 2000
Bosque templado	24,077	27,500	23,586	17,178	26,670	33,697	25,753	30,311
Bosque coníferas	10,656	18,700	10,269	16,822	18,300	---	16,974	20,500
Bosque latifoliadas	13,421	8,800	13,318	---	8,400	---	8,750	9,500
Bosque mesófilo	---	---	---	356	---	771	---	1.4

La superficie boscosa del país sufre una destrucción acelerada. Los ritmos de deforestación son un asunto muy controvertido, con valores que difieren según el método de evaluación aplicado. Por ejemplo la comparación entre los inventarios de la SARH de 1971 y de 1991 muestra 420,000 ha anuales deforestadas y 190,000 perturbadas; Masera *et al.*, (1997) estiman 800,000 ha en 1971-1992, y la propia SARH concluye en su informe sobre la deforestación en 1993 que no dispone de cifras confiables. En contraste, los esfuerzos por reforestar son desproporcionados: en el mejor de los casos, se informa oficialmente del establecimiento de 110,000 ha para 1993, de las cuales sobrevive sólo el 30% (Chapela, 1996).

En los años 80s, México estaba situado en el tercer sitio en cuanto a deforestación en Latinoamérica (antecedido por Brasil y Colombia), con una tasa de 500,000 ha deforestadas anualmente (1981-1985) (Toledo, 1987). Por su parte González-Pacheco estimó en 400,000 ha la destrucción anual de las masas forestales del país. Estas cifras se relacionaron con la expansión de la frontera agrícola y sobre todo pecuaria; la paulatina ampliación de la superficie ganadera inferida de los censos nacionales y los inventarios que realizaron anualmente diversos organismos oficiales sobre el número de cabezas de ganado, fueron suficientes para poner en evidencia los ritmos de deforestación que sufrió el país. Actualmente la tala y la ganadería extensiva de especies menores son las principales causas del deterioro de los bosques en las zonas montañosas de México (Toledo, 1987).

La tasa anual de pérdida de la vegetación natural en México para las últimas décadas se ha calculado es de 1.5 millones de ha (Fundación Ebert Stiftung Friedich, 1990), por lo que si partimos de los casi 80 millones de ha sin disturbios que teóricamente existían en la década de los sesenta, se verían reducidas a 65 en 1990, a 50 en el año 2000 y a 35 en el 2010. Esto significa que el país vería reducida su vegetación natural a un 32% del total de su territorio en 10 años, a 25% en veinte y a solo 17.5% en tres décadas.

Por otra parte, cabe mencionar que las tasas de deforestación han ido disminuyendo en el tiempo debido a que cada vez son menos las zonas susceptibles de talarse, así como a las políticas de protección forestal que se han implementado en los últimos años (Tabla 1).

**Tabla 1.** Tendencias de deforestación de acuerdo a los inventarios Nacionales Forestales (Varela-Hernández, 2000)

Periodo	Millones de hectáreas			Causas
	Superficie arbolada	Deforestación total	Deforestación Anual	
Original a 1950	98.0-77.8	20.2		
1950-1970	77.8-67.8	10.0	0.5	Explosión demográfica, expansión frontera agrícola y reparto agrario
1970-1980	67.8-60.8	7.0	0.7	Revolución verde, programa de desmonte, ley agraria y ganaderización
1980-1990	60.8-56.8	4.0	0.4	Ganaderización y tala
1990-1995	56.8-55.3	1.5	0.3	Tala

#### 2.4 Principales causas de cambio de uso del suelo

Las principales causas de la deforestación en México han sido, en orden de importancia: la apertura de terrenos para la ganadería y agricultura (92%), los incendios (2.3%), la tala ilegal (2.0%) y otras causas de menor importancia (3.7%) (Ruza, 1993).

La expansión de la frontera agrícola, o el empleo de nuevas tierras para cultivos antes destinados a otros usos, ha provocado una constante y destacada merma en las superficies forestales. De los años cuarenta a la actualidad, la superficie agraria ha ido en franco aumento, siendo la presión demográfica y los planes de desarrollo los inductores de su expansión.

De los 200 millones de hectáreas del país, sólo 30 millones son potencialmente susceptibles de destinarse al cultivo agrícola. Actualmente se cultivan alrededor de 19 millones de hectáreas al año, lo que podría indicar que existen tierras potenciales para abrirse al cultivo. Sin embargo estudios basados en sensores remotos y reportes del Atlas Nacional Físico de México, sugieren que sí a los 19 millones de ha cultivadas anualmente se le añaden las superficies en barbecho, ociosas o desechadas por procesos erosivos, se tiene como resultado que el país se encuentra ya muy cerca del límite de su superficie potencialmente agrícola. Esto sin considerar que las zonas agrícolas no siempre se implantan en suelos con aptitud agrícola (Ruza, 1993).

Particularmente, la superficie de los bosques templados se ha reducido en las márgenes de las tierras altas por el sistema de milpas; éstas originan la tala progresiva y errática por medio del fuego, situación que se

agrava de día con día. La población, que aumenta sin cesar, se ve obligada a desmontar, siempre en periodos más cortos, porciones de bosques para barbechar milpas (Ern, 1972). Todo esto ha llevado a una dinámica acelerada en el cambio de uso del suelo en áreas con bosque templado.

La ampliación de las áreas de pastizal como consecuencia de la intensificación de los usos pecuarios, produce una progresiva y acelerada transformación de las regiones forestales, que pasan de un estadio boscoso a uno de pastizal. Entre 1950 y 1980 el aumento de áreas ganaderas y de las actividades pecuarias extensivas, ha supuesto un factor decisivo en la reducción de la cubierta vegetal. En ese mismo periodo la rentabilidad ganadera fue alta, sobre todo en el segmento de los bóvidos criados en grandes explotaciones o latifundios, razón por la cual proliferaron los grandes desmontes para aumentar la superficie de pasto. Esta actuación ha abierto paso a diversas formas de degradación ambiental como las que a continuación se especifican:

- La quema de grandes volúmenes de vegetación genera elevadas cantidades de CO<sub>2</sub>, así el carbono fijado en la biomasa se libera concentrándose en la atmósfera.

- Se potencia el efecto invernadero por el calentamiento atmosférico que se produce con los incendios y rozas, induciendo cambios climáticos regionales y a escala global.

- Aumenta de la cantidad de óxidos de nitrógeno en el ambiente.

- La descomposición lenta del humus, de los residuos de la combustión y el arrastre de las cenizas, colaboran en el desplazamiento del carbono y de otros nutrientes fijados en la biomasa.

- Se intensifican los procesos de erosión en el suelo, desprovisto de una cubierta protectora que le defiende contra la acción de las aguas torrenciales o los fuertes vientos (Ruza, 1993).

La recuperación de bosques templados se ha visto mermada por el pastoreo y el correspondiente incendio de los pastos secos cada año. Se ha demostrado que esta práctica conduce paulatinamente a la caducidad de los bosques ya que sistemáticamente el fuego arrasa con los renuevos. Se ha planteado que los incendios intencionales han favorecido la propagación de especies como *Pinus montezumae*, *P. teocote*, *P. leiophylla* y *Pinus rudis*, que constituyen los bosques "post quemazón", a costa de especies más valiosas como *Abies religiosa*, *P. pseudostrobus*, *P. ayacahuite* y *Cupressus lindleyi*. El pastoreo en los bosques, el incendio de los mismos y la producción de carbón de leña, han reducido notablemente el número de árboles de follaje y en particular a los encinos (Ern, 1972).

Los incendios forestales producen resultados catastróficos en los ecosistemas forestales. Cada año se quema en México una superficie media de 200,000 ha de masa vegetal, es decir, 0.1% del territorio nacional se ve afectado anualmente por los incendios. Se estima que casi un 95% de estos son provocados por el hombre, mientras los que se deben a razones naturales se presentan en el noroeste, debido a tormentas eléctricas o secas y en el sur, por efecto de algunos huracanes (Ruza, 1993, Chapela, 1996).

La estructura de la propiedad agraria es una causa mas del deterioro forestal del país, ya que en el medio rural, el 70% de la superficie es propiedad de ejidos y comunidades, con el restante 30% en manos de propietarios privados eminentemente minifundistas. En definitiva, esas áreas forestales son propiedad de un campesinado pobre, de escasos recursos económicos y tecnológicos, el cual generalmente no se encuentra capacitado técnicamente. El resultado es el uso masivo de quemas para conseguir una mayor superficie agraria de la que vivir en régimen de subsistencia o de un pastoreo extensivo de bajo rendimiento, ya que no se practica una verdadera explotación forestal ni un sistema mixto silvopastoril. Por ello sólo una tercera parte de la producción forestal del país corresponde al sector social, frente a las tres cuartas partes restantes vinculadas a propietarios privados o al Estado (Chapela, 1996, Challenger, 1998).

Por otro lado, los efectos de las talas y desmontes en los suelos dependen en principio de la técnica con la que se realicen. La más agresiva es la quema a pequeña o gran escala, ya que pone fin a la vida de los suelos por combustión de la fracción vegetal y animal de los mismos, por lo tanto, se incrementa el contenido de cenizas ricas en materia orgánica y minerales fácilmente erosionables y la carencia de cubierta forestal favorece los procesos de escorrentía y destrucción de horizontes edáficos (Ruza, 1993). Otros perjuicios de menor impacto en los bosques son: el "ocoteo", que mata al árbol dañado por la obtención de resina y el retiro de ramas para usarlas como combustible (Ern, 1972).

## **2.5 Consecuencias de la deforestación para los suelos forestales**

Una de las más graves consecuencias de la desaparición de la cubierta vegetal es el cambio de las propiedades de los suelos forestales. La vegetación natural contribuye a su formación y los protege, pero al hacerse una cosecha forestal, se propicia la pérdida edáfica, la cual tiende a ser mayor en los terrenos con fuerte pendiente, lluvias torrenciales y suelos arenosos. En el corto y mediano plazos esta pérdida es irreversible, ya que la formación natural de los suelos es producto de un proceso de muchos años. Su erosión lesiona su potencialidad productiva y provoca una disminución de los rendimientos, que puede llegar hasta el grado de dejar los terrenos completamente inútiles (Toledo *et al.*, 1989).

El uso desordenado del zacatal, altera las características edáficas ya que su papel en la estabilización de los suelos montanos es importante, especialmente en el caso de las arenas depositadas por las erupciones en la base de volcanes. Estos hechos han dado lugar a que la erosión que antes actuaba en forma normal, se acelere (Werner, 1976). Se puede considerar que el proceso de desertificación es un problema que afecta a más de la mitad del país, ya que en 1954 la FAO, en un estudio titulado "La erosión del suelo en la América Latina", concluyó que México es quizá el país más afectado por la erosión del suelo de toda América; se ha llegado a considerar que la afectación podría cubrir el 63 % del territorio nacional.

En las áreas agrícolas la degradación química es común, ya sea por la aparición de sustancias tóxicas, como el aluminio, en suelos ácidos, que llega a afectar hasta un 25% del rendimiento del maíz; también son comunes los desbalances provocados por el uso excesivo de fertilizantes.

La degradación biológica del suelo es un problema que afecta a una amplia superficie del país, independientemente del uso de la tierra; es más dramática la ocurrencia en áreas forestales, donde se presentan valores menores de 2% de materia orgánica en la mayor parte de su superficie (Toledo *et al.*, 1989).

## **2.6 El estudio de parches de vegetación para analizar el impacto en el cambio de uso del suelo.**

El proceso de fragmentación de los paisajes debido a la actividad antropogénica es uno de los problemas más críticos para la conservación ecológica. La diversidad vegetal y animal depende de las características biogeográficas del medio; esta dependencia se expresa a través de relaciones verticales, al interior del paisaje y horizontales, entre paisajes. El proceso de fragmentación se manifiesta en la división de un hábitat continuo en porciones más pequeñas y aisladas, lo que resulta en pérdida de superficie y del conjunto ecológico; es decir, produce una transformación estructural y funcional del paisaje (Forman y Godron, 1986; Hobbs y Saunder, 1993).

Desde el punto de vista ecológico, la fragmentación y la pérdida de hábitat influye en la dinámica de las poblaciones vegetales y animales. En hábitats fragmentados se reduce el potencial para la dispersión y la colonización, y las poblaciones se subdividen. Con la fragmentación de los paisajes se amplían los bordes, conocidos como ecotonos o zona de transición, que son dinámicos y su influencia cambia a través del tiempo; se crea una nueva estructura que favorece y atrae el establecimiento de diferentes especies afectando los procesos ecológicos de las comunidades (Di Castri y Hansen, 1992).

El patrón espacial observado en los paisajes resulta de las complejas interacciones de fuerzas físicas, biológicas y sociales, formando mosaicos de parches heterogéneos que varían en tamaño, forma y arreglo, en función de las relaciones espaciales derivadas de su ubicación, grado de aislamiento, dispersión, accesibilidad e interacción. Estas interacciones bióticas y abióticas son indicadores muy sensibles de los cambios en el medio ambiente (Forman y Godron, 1986).

La variación de la topografía y del tipo de suelo provoca importantes efectos en los paisajes, porque influye en el tamaño y el arreglo de los fragmentos, en los flujos de aire y agua, y en la incidencia de radiación e iluminación solar. Por ello puede inducir diferencias en la composición de especies y en el desarrollo del suelo a diversas escalas de fragmentación. Las geoformas, el suelo y la vegetación o combinaciones de ellos, son usados como indicadores de una serie de características de los paisajes, entre ellas su potencialidad para ser restaurados. Las propiedades de los suelos y los tipos de geoformas advierten el grado de sensibilidad,

vulnerabilidad y la resistencia de un paisaje a un disturbio; son también factores que controlan su evolución y su capacidad de recuperación (Gerhardt y Foster, 2002).

En la actualidad, y por todo el planeta, los remanentes de ecosistemas naturales y corredores de especies originados por procesos que fragmentan los paisajes, son el punto medular en los programas de restauración ecológica y de preservación de la biodiversidad, a partir de los cuales pueden desarrollarse acciones para regenerar, reintroducir y propiciar flujos de especies en el paisaje (Saunders, *et al.*, 1991).

### **2.7 Relación bosque-suelo**

Algunos trabajos reconocen la variación en las propiedades del suelo de un sitio respecto a otro, a partir del tipo y densidad de la cubierta vegetal, como es el caso de la materia orgánica, del porcentaje de saturación de bases y de la distribución de la arcilla en profundidad, entre otros. Birkeland (1984) demostró que en el suelo de coníferales se registran altos contenidos de carbono orgánico y de nitrógeno total, valores bajos de pH, altos contenidos de sodio, potasio y fósforo, y bajos de calcio y magnesio, comparados con otros tipos de bosque decíduo. De igual forma, los tipos de suelo en general se asocian con los de vegetación, por ejemplo, en la tundra el suelo es delgado y poco estratificado porque existe poca actividad biológica: en contraste, en los suelos de estepa el horizonte A es espeso, rico en materia orgánica y nutrientes. En el trópico, el suelo es profundo, poco estratificado y pobre en nutrientes debido a que éstos son rápidamente descompuestos por la actividad microbiana y removidos hacia horizontes inferiores por las intensas precipitaciones (Waring y Schlesinger, 1985).

En este sentido, los bosques maximizan las funciones benéficas para los suelos, pues mantienen e incrementan la materia orgánica, fijan el nitrógeno, protegen de la erosión, extraen los nutrientes del suelo a través de sus raíces con mayor eficiencia que los arbustos y las hierbas, ya que logran obtener de las rocas intemperizadas el potasio, fósforo, bases y micronutrientes, de los horizontes B y B/C. De manera que la deforestación trae como efecto la pérdida de agua por evapotranspiración al disminuir la biomasa y, una vez deshidratado, sobreviene la erosión del suelo. En áreas desforestadas el ciclo del nitrógeno se rompe provocando que el nitrógeno orgánico y el amoníaco sean oxidados rápidamente a nitratos por escurrimiento, lo mismo que el potasio y el calcio (Ortíz y Ortiz, 1980).

Los patrones y procesos relacionados con la ocupación humana de zonas montañas del centro de México, seguida por la pérdida de bosques esta muy pobremente estudiada y por lo tanto este proceso destructivo debe ser analizado a profundidad para poner un alto al proceso destructivo de bosques de gran importancia como los del Citlaltépetl. Dicho conocimiento se traduce en planes de manejo que mejoran las condiciones de vida de los habitantes de esa región, procuran la riqueza biológica y mantienen las propiedades de la tierra.

### 3. Área de Estudio

#### 3.1 Localización

El área natural protegida del Pico de Orizaba abarca porciones de los Estados de Puebla y Veracruz, y cuenta con una superficie total de 19,750 ha. De acuerdo con las categorías de manejo establecidas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente (1988), corresponde a un Parque Nacional (Flores-Villela, 1994).<sup>1</sup>

El Citlaltépetl, como también se conoce a dicha elevación, se localiza en la parte centro-este del estado de Puebla y forma parte de la llamada cuenca oriental (cuenca endorreica); sus coordenadas geográficas son 18° 52' 42" y 19° 19' 54" latitud norte y 97° 10' 24" y 97° 35' 36" longitud occidental. En la zona altitudinal comprendida entre los 2600 y 4000 m.s.n.m. prevalece un clima semifrío subhúmedo con lluvias en verano. La vegetación está formada principalmente por bosque de oyamel, bosque de pino, bosque de pino-encino y pastizales de alta montaña (INEGI, 1987). En el volcán más alto de México (5610 m.s.n.m.) que por sus características fisiográficas y biológicas representan un gradiente altitudinal de gran importancia natural (Figura 1). Se define aquí como la parte occidental del volcán, aquella donde se localizan los municipios poblanos de Cd. Serdán (Chalchicomula de Sesma), Tlachichuca y Atzitzintla. El presente estudio se sitúa en una franja altitudinal limitada en la parte inferior por relictos de bosque de coníferas que sobreviven entre las áreas agrícolas (2600 m.s.n.m.) y en altitudes altas por el borde agrícola, que está aproximadamente a 3500 m.s.n.m.

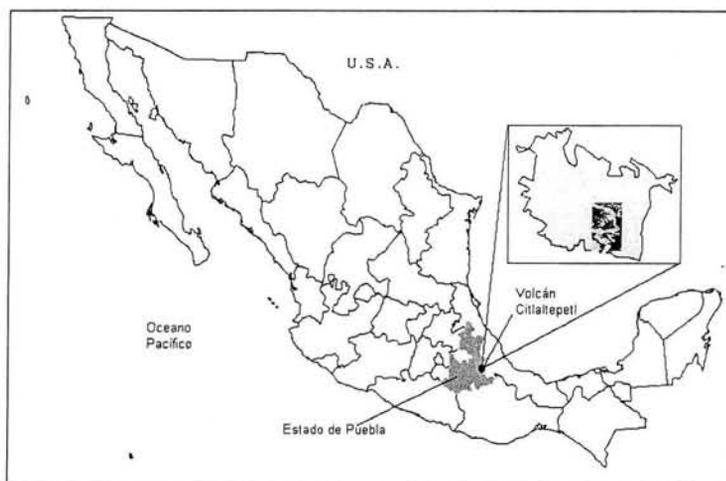


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

<sup>1</sup> Lo decretado el 14 de enero de 1937 en el diario oficial indica que la superficie del parque nacional se ubica, del norte, partiendo del cerro del Río Valiente, el lindero sigue hacia el Sureste en línea recta hasta llegar al punto conocido con el nombre de Potrero Nuevo; de este lugar, el lindero sigue al Suroeste pasando por las cumbres del cerro de palo Gacho y de Tepala o Piedras Blancas, hasta llegar al Puerto de Texmalaquilla; de este punto, el lindero voltea hacia el Noroeste hasta llegar a las inmediaciones del pueblo de Xepestepec, de donde, con dirección hacia el Noroeste el lindero termina en las cumbres del Cerro del Río valiente que se tomo como punto de partida.

En los tres municipios prevalece el tipo de tenencia ejidal, y sus pobladores se dedican primordialmente a la agricultura de temporal de papa, maíz, haba, y frijol. La explotación forestal es mínima y se reduce a recolección de leña (INEGI, 1994 a). La actividad silvícola fuerte fue realizada por unidades de producción de tipo privado, siendo el pino la especie de mayor demanda.

Las comunidades humanas que se encuentran actualmente en el área de estudio tienen sus orígenes en asentamientos nahuas y totonacos; después de la conquista de México estas comunidades fueron controladas por los españoles convirtiéndose en pueblos coloniales. Tlachichuca y Atzitzintla pertenecieron a Cd. Serdán (fundada a finales del siglo XVI), hasta el año de 1899, en el que se erigieron como municipios libres (Cordero y Torres, 1965).

### 3.2 Fisiografía

El Citlaltépetl pertenece a la provincia fisiográfica denominada Cinturón Neovolcánico, que a su vez se subdivide en 14 subprovincias, y se encuentra específicamente en la denominada Lagos y Volcanes del Anáhuac (INEGI, 1987). La estructura orográfica dominante es la sierra que tiene una dirección norte – sur, llamada sierra del Citlaltépetl o de las Grandes Montañas. Sus principales prominencias son el Cofre de Perote (4282 m.), situado al norte de la zona de estudio, y la Sierra Negra con una altura máxima por encima de los 4000 m. Sobre las estribaciones del Pico hay otros edificios volcánicos menores, el Cerro Colorado y el Cerro Xipe al suroeste, y el Cerro de la Cumbre al norte.

En la vertiente este aparecen varios macizos calcáreos, considerados como parte de la Sierra Madre Oriental (Viniestra, 1966). Entre Huatusco y Maltrata se observan la Sierra de Tepampa (cerca de Huatusco), la Sierra de Chocamán, la Sierra de San Antonio, los Cerros Escamela y del Borrego (cerca de Orizaba), la sierra de Agua y la Sierra Maltrata. Varias barrancas cortan el terreno de oeste a este, como la Cañada de Chocamán y la Barranca del Río Jamapa.

Hacia el oeste del Citlaltépetl, en la zona objetivo de este estudio, se encuentra la zona de la cuenca de Oriental (nombrado así por el poblado al centro de la zona). Las faldas del volcán dan lugar a una planicie que comienza alrededor de los 2500 m.s.n.m. Aquí se hallan algunos macizos calcáreos, como el Cerro Texmelucan al norte de Cd. Serdán, y el Cerro Chantilco al noroeste de Tlachichuca. Más abundantes son los conos cineríticos y los de explosión (xalapazcos y axalapazcos) al pie de la Sierra Negra y al oeste y noroeste del Pico.

### 3.3 Hidrología

La zona es irrigada por numerosos arroyos intermitentes que nacen de las aguas de deshielo del Pico de Orizaba y después de unirse van a aumentar el caudal del río Tehuacán, que posteriormente forma el Río Salado (INEGI, 1987). Las aguas de lluvia y nieve que caen sobre el Pico de Orizaba escurren en tres grandes cuencas: la del Jamapa con desembocadura en Boca del Río; la del Papaloapan que desemboca en la laguna de Alvarado, ambos en el Estado de Veracruz, y la cuenca endorreica de Oriental en Puebla. En la primera, situada al noreste del Citlaltepétl, se originan dos ríos de importancia: el Jamapa y el Cotaxtla. Numerosos afluentes del río Blanco comienzan al sureste del Volcán. Al oeste y oroeste del Pico se encuentran los arroyos de la cuenca endorreica de Oriental: el Libres, Oriental y el Seco. El río Quetzalapa (al igual que el río Valiente, al norte del Pico) se forma a partir de los deshielos del Citlaltepétl, pero pronto desaparece a medida que las aguas se filtran a través del suelo (Johnson-Gleason, 1970)

### 3.4 Clima

La descripción del clima se basa en el sistema de clasificación climática de Köppen modificado por García (1988) y en la carta climática de la Síntesis Geográfica de Puebla (INEGI, 1987). También se tomaron en cuenta los datos de temperatura media (mensual y anual) de cuatro estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio: Cd. Serdán, Tlachichuca, Guadalupe Victoria y Atzitzintla. Todas las estaciones cuentan con datos de más de 30 años, los cuales provienen de los archivos de la Comisión Nacional del Agua y del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad Autónoma de Puebla.

En las faldas occidentales del Pico de Orizaba se identifican cuatro climas siguiendo clasificación de Köppen modificado por García (1964) los cuales se describen a continuación:

$C(w_1)(w)$ : se presenta en las región premontana de la zona de estudio, alrededor de los 2600 m.s.n.m. Se caracteriza por ser un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media anual entre 12 y 18° C, temperatura del mes más frío entre - 3 y 18°C, precipitación del mes más seco menor de 40 mm.

$C(w_2)(w)$ : clima templado subhúmedo con lluvias en verano, con temperatura media anual entre 12° y 18° y solo tres meses con temperatura mayor de 10°C, con la precipitación del mes más seco menor a 40 mm, temperatura del mes más frío entre -3 y 18°C, el porcentaje de precipitación invernal con respecto a la anual menor de 5. Se presenta en un área reducida, al pie de las estribaciones meridionales del Pico de Orizaba.

$C(E)(w_2)(w)$ : clima semifrío subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media anual entre 5 y 12°C, temperatura del mes más frío entre - 3 y 18°C, el por ciento de precipitación invernal con respecto a la anual menor a 5. Se presenta en una franja longitudinal, al pie de las estribaciones occidentales del volcán, entre los 2800 y 3500 m.s.n.m

$C(w_0)(w)$ : clima templado subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media anual entre 12 y 18°C, con precipitación del mes más seco menor de 40 mm, con un por ciento de precipitación invernal con respecto

a la anual menor de 5, temperatura del mes más frío entre -3 y 18°C. Este clima se presenta en las primeras estribaciones del Pico de Orizaba (INEGI, 1987).

A partir de los datos de las estaciones se obtuvo la evapotranspiración potencial, que es el fenómeno inverso de la precipitación o sea el aporte de agua de la superficie terrestre a la atmósfera bajo condiciones de disponibilidad de agua suficiente. En una superficie con cubierta vegetal, es la suma del agua que transpira la cubierta vegetal más la que se evapora de la misma superficie del suelo. La Tabla 3 muestra las medias de temperatura, precipitación y evapotranspiración para los años 1968 a 1998 que se tomaron de las bases de datos del departamento de Ciencias de la Tierra, BUAP.

**Tabla 3.** Medias de temperatura y precipitación de las estaciones cercanas a la zona de estudio

Estación	Variable*	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Atzitzintla 18°47'N 97°22'W 2650 m	T	12.6	11.9	13	13.7	15.9	14.6	11.5	14.2	13.7	11.9	10.3	10.8	12.84
	P	10.5	17.3	22.6	27.5	76.7	291.2	63.6	96.5	74.6	3.7	21.7	10.8	716.70
	E	4.77	4.21	5.38	5.85	7.59	6.64	5.11	6.41	5.69	4.68	3.63	3.94	
Cd. Serdán 18°58'N 97°27'W 2576 m	T	10.7	12.2	14.7	15.9	15.8	13.9	13.7	14.2	13.5	12.7	11.6	10.3	13.27
	P	6.3	6.7	17.1	37.4	96.2	141.8	119.3	96.5	136.2	43.1	11.5	6.1	718.20
	E	4.36	5.25	6.66	6.73	6.14	5.86	6.36	5.75	4.93	4.30	3.42	4.86	
Tlachichuca 19°06'N 97°25'W 2590 m	T	12.3	13.3	15.1	16.1	16.1	15.9	14.7	14.8	14.8	13.9	13.3	12.1	14.37
	P	1	3.4	27.8	42.9	70	77.4	112.8	97	110.9	47.8	24	34.9	649.90
	E	4.09	4.32	5.87	6.53	7.03	6.73	6.27	6.10	5.66	5.09	4.46	4.00	
Gpe. Victoria 19°20'N 97°25'W 2590 m	T	11.9	12.8	15.7	16.3	17.1	15.8	15.3	15.4	15.3	14.2	12.8	11.9	14.54
	P	4.2	9.8	14.4	34	46.4	81.1	48.5	39.9	59.2	27.5	12.7	7.9	385.60
	E	3.85	4.03	6.11	6.56	7.55	6.59	6.53	6.36	5.84	5.17	4.16	3.85	

\*T es temperature en °C. P es precipitación en mm. E es evapotraspiración en mm/mes

Las gráficas de temperatura y precipitación de las estaciones cercanas al Citlaltépetl muestran en la figura 2 las características típicas los climas de montaña en México.

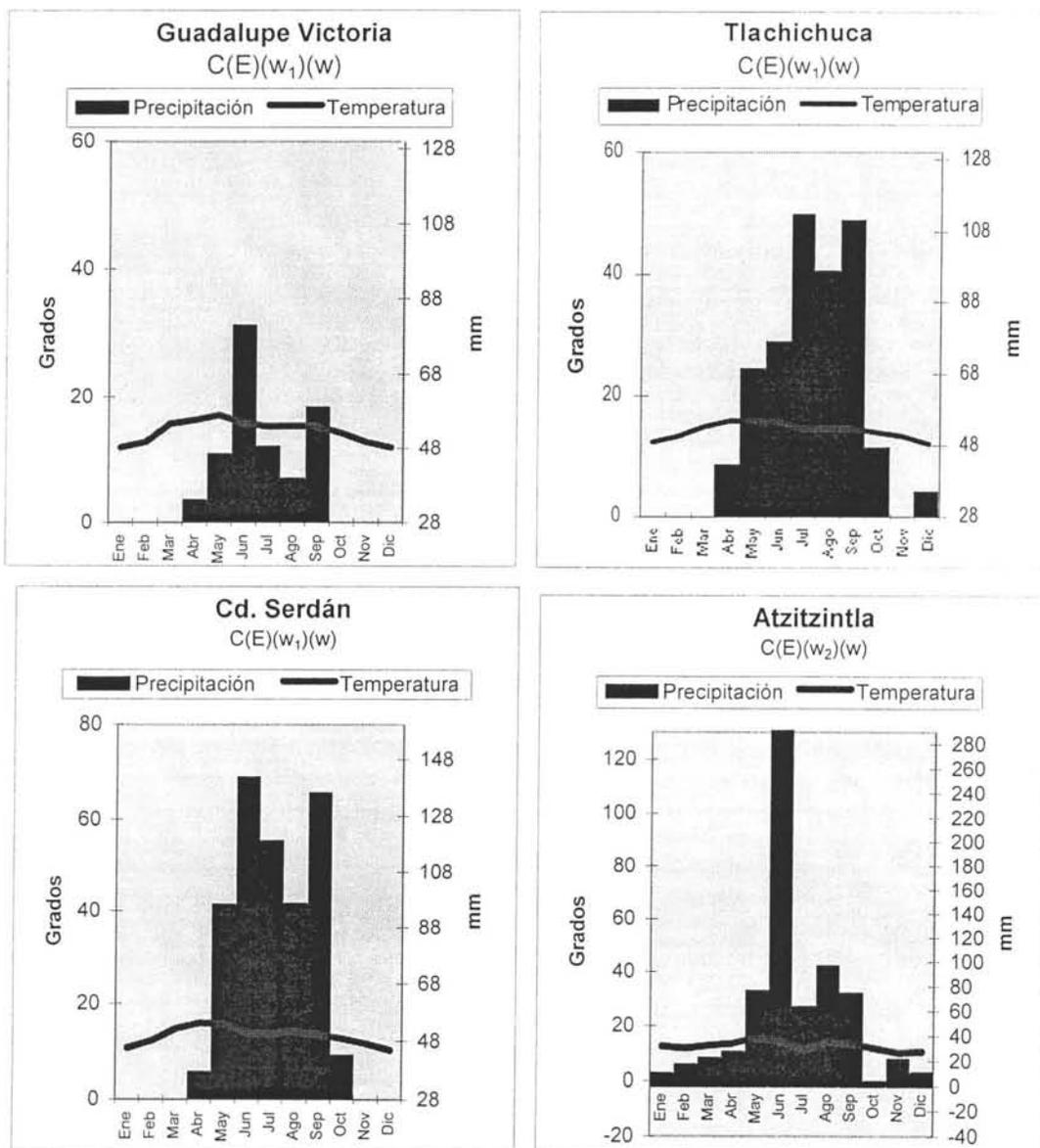


Figura 2. Gráficas de temperatura y precipitación de las estaciones ubicadas alrededor del Volcán Citlaltépetl en estado de Puebla.

Restringiéndonos a las isotermas e isoyetas de la zona, las grandes masas forestales de pino, pueden aproximarse en los límites entre los 10 y 20° C de temperatura media anual y entre 600 y 1000 mm de lluvia total anual. En general estas áreas son afectadas por heladas todos los años y la precipitación se concentra en un periodo de 6 a 7 meses.

### 3.5 Origen geológico y suelos

Dentro del territorio mexicano se localizan 11 provincias morfotectónicas, cuyos rasgos fisiográficos y geológicos las distinguen individualmente. El Pico de Orizaba se ubica en la denominada Faja volcánica transmexicana, localizada entre los paralelos 17°30' – 20°25' de latitud N y los meridianos 96°20' – 105°20' de longitud W. Dicha unidad morfométrica está dispuesta en dirección este-oeste, atraviesa el país de costa a costa, tiene cerca de 930 km de longitud y en promedio 120 km de anchura. Fisiográficamente, las formas dominantes del terreno son producto del vulcanismo; la mayor parte es una meseta volcánica mucho más alta en su mitad oriental que en la occidental (Ferrusquía-Villafranca, 1993).

El Citlatepetl es un cuerpo de roca del cenozoico tardío, perteneciente al grupo de los grandes estrato volcanes (junto con Nevado de Toluca y Popocatepetl). Está constituido por paquetes alternantes de lava (andesíticas y basálticas) y piroclastos (Ferrusquía, op cit).

Las formaciones que afloran en esta zona comprenden desde el Cretácico hasta el Cuaternario. Viniestra (1966) describe que varias calizas negras con pedernal del Cretácico Inferior afloran al sureste de Orizaba. Sobre estas se formó la serie Escamela, un grupo de calizas biógenas y clásticas de más de 2000 m de espesor, del Cretácico Medio y Superior. En la parte inferior se encuentran las calizas de tipo arrecifal y subarrecifal de las unidades de Orizaba y Guzmantla; de la misma edad que la unidad Guzmantla son los sedimentos arcillo-calcáreos y las calizas con pedernal negro de la formación Maltrata, que tiene una extensión considerable en los valles de Maltrata y Acultzingo y en la sierra de Agua; esta formación subyace los sedimentos arcillo-margosos con horizontales de calizas de la formación Necoxtla y las calizas biógenas de la unidad Atoyac, las cuales afloran respectivamente en la llamada Sierra de San Antonio y en el Cerro Sta. Elena.

En el Terciario se inició un proceso del levantamiento del actual altiplano y el hundimiento de la cuenca de Veracruz, con el concomitante plegamiento de la zona intermedia. En el océano llegó a su máximo esta pulsación orogénica, que tiene como testigos la falla de cobijadura de Orizaba (desde La Perla hacia el Sureste) y los anticlinales recumbentes de Aljojuca y Chantilco (al norte de Cd. Serdán y al noroeste de Tlachichuca respectivamente). La erosión posterior ha formado los valles transversales hacia el Golfo y puesto al descubierto las formaciones geológicas que hoy se observan en la superficie.

Simultánea a este proceso orogénico, comenzó una actividad volcánica marcada. En el Oligoceno se formaron las bases de la sierra elevada sobre la cual se formaron el Cofre de Perote y el Pico de Orizaba. La Malinche y el Cofre de Perote aparecieron en el Plioceno. En el Pleistoceno surgió la formación del Pico de Orizaba, que ha tenido erupciones hasta 1687 (Yarza, 1948). Sus laderas poseen notables depósitos de arenas volcánicas que se extienden hacia abajo en la forma de abanico. Los valles y cañadas de Orizaba, Huatusco y sobre todo Coscomatepec han recibido grandes aportaciones de detritus volcánico, posiblemente

de este origen. Desde el Pleistoceno hasta el reciente, surgieron aparatos volcánicos con derrames básicos en el área de Coscomatepec y Huatusco. En la cuenca de Oriental brotaron numerosos conos cineríticos y conos de explosión, cuyo material pumítico llena las partes bajas de la cuenca.

Respecto a los tipos de suelo, Werner (1978) y el INEGI (1992) caracterizaron los suelos de la región de acuerdo con el sistema FAO-UNESCO (1974) como sigue:

- Litosol : Se ubican en la zona superior del cono volcánico, son suelos de menos de 10 cm de espesor sobre rocas de tepetate, no aptos para cultivo de ningún tipo y que solo pueden destinarse a pastoreo.

- Andosol : suelos derivados de cenizas volcánicas recientes, muy ligeros y de alta capacidad de retención de agua y nutrientes. Por su alta susceptibilidad a la erosión y fuerte fijación de fósforo deben destinarse a la explotación forestal o al establecimiento de parques recreativos. Ocupan una extensa área en las faldas del volcán. Presentan fase lítica con roca a menos de 50 cm de profundidad.

- Regosol : suelos formados por material que no sea aluvial reciente, como dunas, cenizas volcánicas, etc. Su uso varía según su origen, son muy pobres en nutrientes, prácticamente infértiles. Ocupan las faldas inferiores del volcán, presentan fase gravosa (fragmentos de roca o tepetate menores a 7.5 cm de diámetro).

El perfil muestra de esta zona, realizado por INEGI dentro del área de estudio, se muestra en el anexo 1, así como las características físicas y químicas de un suelo típico del Citlaltepeltl.

El estudio más importante relacionado con los suelos del Pico de Orizaba es el que realizó Johnson (1970) con el objetivo de relacionar el suelo y la vegetación, con énfasis en las propiedades físico-químicas del suelo. Lo llevó a cabo en cinco sitios de las dos vertientes (la oriental y la occidental). Los sitios de la vertiente occidental se localizan a 3700, 4000 y 4200 msnm, con vegetaciones de bosque monoespecífico de gran altura con *Pinus hartwegii*) y pastizal alpino, lo que por desgracia coloca dichos sitios fuera del área de estudio de este trabajo.

### 3.6 Vegetación y uso actual del suelo.

Existen algunos estudios sobre vegetación del Pico de Orizaba hechos con diversos objetivos, como Lauer (1979), quien siguiendo un criterio altitudinal localiza tres divisiones para la vegetación natural:

- Bosque de *Pinus hartwegii*, localizado entre los 3200 y 4100 m.s.n.m., junto con algunos elementos de *Abies religiosa* hasta los 3600 m. El límite superior arboreo en el Pico de Orizaba está a 4100 m y arriba de este se encuentra como únicas plantas leñosas a *Juniperus monticola*, forma orizabensis y forma compacta. El género Mahonia (probablemente *Mahonia ilicifolia*) se encuentran en zonas más elevadas crece normalmente en suelos rocosos.

-Bosque de Coníferas de alta montaña, comprendidos entre los 2700 y 3200 m. Se encontraron especies como *Pinus montezumae*, *Pinus teocote*, *Alnus firmifolia* y encinos como *Quercus laurina*. Se

reportan *Abies religiosa* y *Pinus ayacahuite* en barrancas húmedas. Este piso altitudinal va de semihúmedo hasta subhúmedo, ya que está situado en el nivel principal de condensación de las nieblas, que usualmente se encuentra a 2700 m de altura.

- Bosque de pino-encino, comprendido entre 2500 y 2700 m, localizado generalmente en las vertientes secas volcánicas; se caracteriza por la presencia de los géneros *Pinus*, *Quercus*, *Abies* y *Cupressus* (Lauer, 1979).

Otro tipo de uso y vegetación es la que cubre la zona de agricultura de temporal (INEGI, 1987): en ésta la altiplanicie se encontraba originalmente cubierta por bosque de pino-encino, ahora la mayor parte ha sido sustituida por cultivos de temporal de maíz y cebada. En la zona media alta, por encima de los 3000 m., se localizan cultivos de papa, haba, chícharo y frijol.

La agricultura de riego se localiza en la zona que corresponde a Cd. Serdán, donde desde épocas coloniales se han utilizado las aguas de deshielo del Volcán para cultivos, principalmente de maíz y papa (INEGI, 1987).

### 3.7 Fauna

A pesar del deterioro que presentan sus bosques, en el Citlaltépetl se encuentran aún algunas especies de animales comunes de los bosques templados en México (Flores-Villela y Gérez, 1994) los cuales se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Vertebrados comunes que se localizan en los bosques templados

Nombre Común	Nombre científico
Tlacuache	<i>Didelphis marsupialis</i>
Armadillo	<i>Dasyus nomemcictus</i>
Conejo	<i>Sylvilagus sp</i>
Ardilla gris	<i>Sciurus aureogaster</i>
Coyote	<i>Canis latrans</i>
Zorra gris	<i>Urocyn cinereoargentes</i>
Cacomixtle	<i>Bassariscus sumichrasti</i>
Tuza	<i>Pappogeomys sp</i>
Zorrillo listado	<i>Menphitis macrorura</i>
Lechuza	<i>Tyto alba</i>
Codorniz	<i>Cyrtonix sp</i>
Pajaro carpintero	<i>Melanerpes formicivorus</i>
Vibora de cascabel	<i>Crotalus sp</i>

### 3.8 Tenencia y uso del suelo.

Los tipos de tenencia que predominan en el área de estudio son de tipo ejidal y en menor proporción la pequeña propiedad, salvo para el municipio de Atzitzintla (Tabla 5). La economía campesina se lleva a cabo mediante pequeñas unidades de producción y consumo, cuyo principal sustento es la agricultura. De los tres municipios que rodean el área protegida, Cd. Serdán presenta el porcentaje más alto de área ejidal (Tabla 5) y una muy pequeña fracción de área federal. Tlachichuca también presenta un elevado porcentaje de zonas ejidales pero el porcentaje federal es de casi el 21% de su área total, siendo esta parte la del Parque Nacional.

**Tabla 5.** Distribución de la tenencia por municipio (INEGI, 1994 a)

Municipio	Superficie (ha)	Privado (%)	Ejidal (%)	Federal, estatal o mpa <sup>1</sup> (%)
Atzitzintla	14,658.89	9,973.25 (68.0)	4,501.23 (30.7)	184.45 (1.3)
Cd. Serdán	44,673.59	11,467.52 (25.7)	32,672.58 (73.1)	533.49 (1.2)
Tlachichuca	53,002.50	13,053.77 (24.6)	28,873.19 (54.5)	11,075.54 (20.9)

Según datos de INEGI (1988) en esta región no existe explotación forestal de gran nivel, pero cada municipio tiene una pequeña proporción de ejidatarios que tienen actividad forestal o que se dedican a la recolección de leña, siendo el municipio de Tlachichuca el que presenta la mayor proporción para ambas actividades (Tabla 6).

**Tabla 6.** Ejidos dedicados al uso del bosque por municipio (INEGI, 1988)

Municipio	Ejidos	Con actividad forestal	Con recolección leña
Atzitzintla	6	1	1
Cd. Serdán	25	2	2
Tlachichuca	24	4	9

Desde tiempos coloniales esta zona se ha caracterizado por tener una fuerte actividad agrícola, aunado a esto, a finales del siglo XIX la construcción del ferrocarril México-Veracruz comunicó el área con el centro del país y acentuó su carácter agrícola (Palacios, 1917). Los cultivos más importantes en la zona son el maíz (*Zea mays*) y la asociación maíz – haba (*Vicia faba* L.), empleados básicamente para autoconsumo. El cultivo comercial más importante es la papa (*Solanum tuberosum* L.) de la variedad López aprovechada desde hace 90 años (Avila-Bello, 1996). Para el Estado de Puebla, Cd. Serdán es el municipio con mayor producción de maíz, y Tlachichuca es el mayor productor de papa (INEGI, 1994a).

## **4. Objetivos**

### **4.1. Planteamiento de la investigación**

Este trabajo se llevó a cabo en comunidades de alta montaña en el Volcán Citlaltépetl, en donde debido al avance de la frontera agrícola se presentan problemas de deforestación, erosión y degradación de suelos, consecuencia del uso agrícola que se ha practicado por muchos años sobre estas tierras de vocación forestal.

El presente trabajo intenta evaluar la magnitud e impacto del cambio en el uso del suelo en el occidente del Pico de Orizaba. La primera etapa del estudio comprende un análisis histórico - social del uso del suelo en la región que comprende tres municipios: Tlachichuca, Cd. Serdán y Atzitzintla. Como resultado de este análisis se seleccionó un municipio y ciertas comunidades en las cuales se aplicaron encuestas a los campesinos (ejidatarios) sobre el uso y la dinámica de cambio de uso del suelo. Este estudio sirvió para seleccionar sitios y parcelas en las que se valoró el impacto de este cambio en el suelo, usando como indicadores las propiedades físicas y químicas de los suelos forestales, de acuerdo a las asociaciones vegetales presentes en el área y sus correspondientes suelos agrícolas.

### **4.2. Objetivos**

#### **General**

Evaluar el cambio de uso del suelo mediante la cuantificación en el aumento de la frontera agrícola, en los últimos 30 años, en la vertiente occidental del Pico de Orizaba, así como las consecuencias de este cambio sobre algunas características de los suelos forestales.

#### **Específicos**

- a) Evaluar a nivel regional, el cambio del uso del suelo durante el periodo 1975-1995.
- b) Analizar la tasa de cambio de uso de forestal a agrícola en tres municipios.
- c) Realizar estudio de la dinámica de cambio de uso del suelo a nivel local.
- d) Estimar el impacto de la transformación del uso forestal al uso agrícola, caracterizando las diferencias fisicoquímicas entre los suelos forestales y los que han sido convertidos a agricultura.

5. Métodos.

5.1 Esquema de trabajo

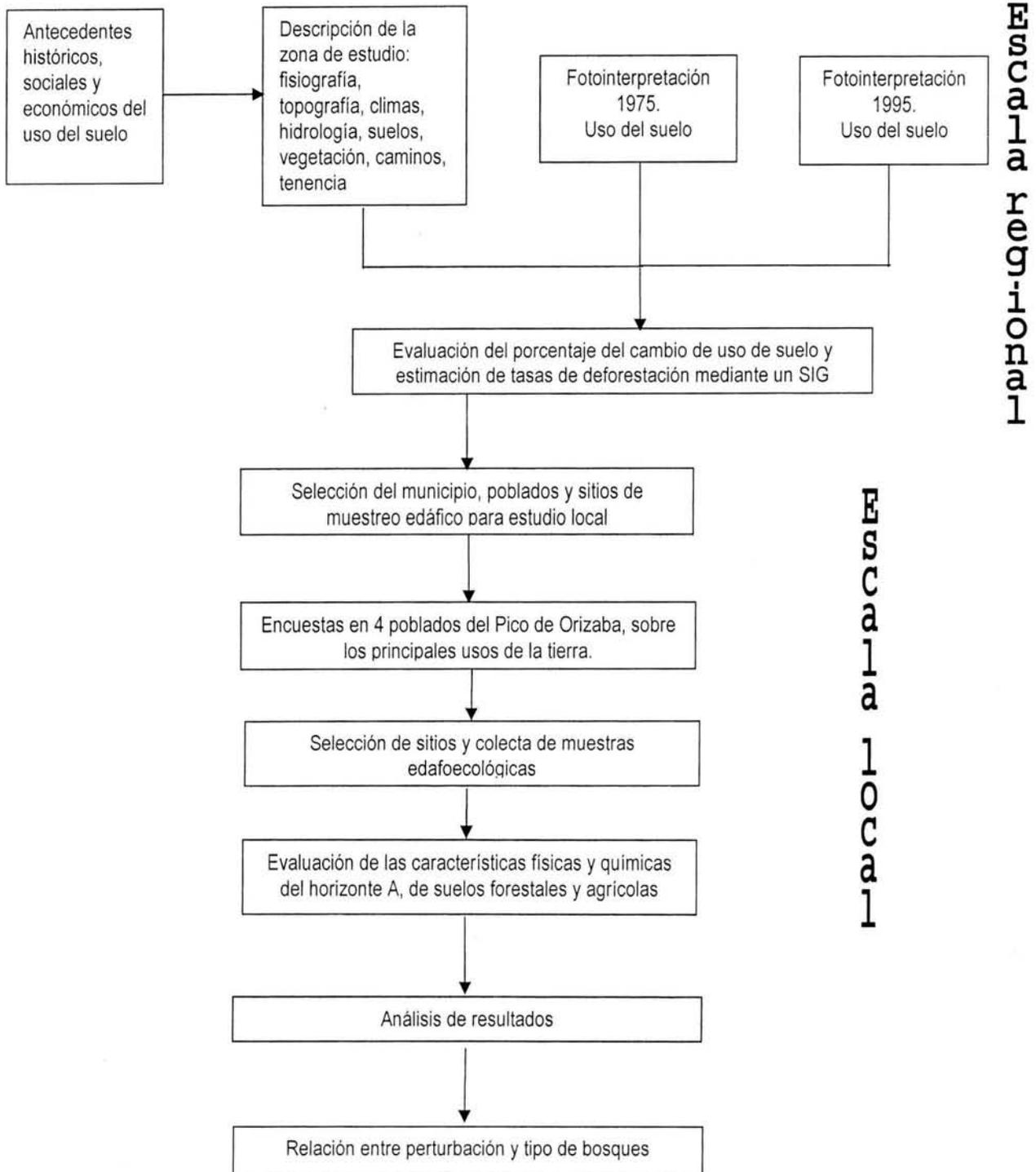


Figura 3. Diagrama metodológico

## **5.2 Trabajo Documental**

Para la recopilación de los antecedentes históricos y la reconstrucción ambiental, se recurrió a la investigación de diferentes fuentes, como textos históricos, archivos, artículos científicos, mapotecas y entrevistas personales. Se comenzó con una revisión histórico-bibliográfica para saber qué tipo y que área ocupó la vegetación original, para posteriormente con información más reciente (tanto publicada como producto de esta investigación), hacer un seguimiento del cambio en el uso del suelo.

Con la información contenida en la cartografía temática de la zona, principalmente topografía, a escala 1:50,000 se elaboró el mapa base del área de estudio, utilizando AutoCAD 12. Las cartas utilizadas (INEGI, 1987) fueron las siguientes E14B45 (San Salvador el Seco), E14B46 (Coscomatepec, Ver.) y E14B55 (Cd. Serdán). En la captura de los rasgos topográficos se incluyeron también otros rasgos de importancia de la zona de estudio, como principales poblados, vías de acceso, ríos, lagunas. También se marcó el tipo de tenencia de la tierra y el número de ejidos en las zonas forestales, datos obtenidos de censos de la Secretaría de Reforma Agraria (1956)

La información histórica, la estadística censal de actividades agrícolas, ganaderas y forestales (sector primario) (INEGI, 1988, 1994) y la cartografía existente sirvieron para enriquecer el análisis espacial de los resultados de los cambios de uso habidos en la cobertura vegetal natural.

## **5.3 Fotointerpretación**

### **a) Nivel regional**

La fotointerpretación se realizó a dos niveles, la primera fue regional y abarcó 47,000 ha. Por este medio se evaluó el cambio de uso del suelo en tres municipios; Cd. Serdán, Tlachichuca y Atzitzintla, entre los 2600 y 3600 msnm, cuyo límite inferior corresponde a la ubicación de relictos de vegetación natural junto con grandes asentamientos humanos (cabeceras municipales) y el límite superior corresponde a la frontera agrícola que limita con el Parque Nacional Pico de Orizaba o la zona boscosa.

La evaluación regional del cambio de uso del suelo entre 1974 -75 y 1995 se cubrió mediante la interpretación de fotografías aéreas (ver Tabla 7) y con salidas al campo para su verificación. Se hizo una comparación de las fotografías aéreas blanco y negro, de la zona 18A y 18AA en escala 1:50 000 correspondiente a los años 1974-1975, con las aerofotos de 1995 a escala 1:75 000 (Sistema Nacional de Fotografía Aérea SINFA, INEGI).

**Tabla 7.** Características de las fotografías utilizadas en la fotointerpretación.

<i>Fecha</i>	<i>Escala</i>	<i>Línea</i>	<i>Fotos</i>	<i>Zona</i>
Nov-74	1:50,000	14	1-5	18 A
Nov-74	1:50,000	15	38-40	18 A
Nov-74	1:50,000	16	1-4	18 A
Nov-74	1:50,000	17	49-52	18 A
Nov-74	1:50,000	18	55-60	18 A
Ago-75	1:50,000	2	23-26	18 AA
Ago-75	1:50,000	3	8-10	18 AA
Feb-95	1:75,000	180	1-5	
Mayo-95	1:75,000	181	1-9	

En ambas fechas fotográficas se ubicó la frontera entre zonas agrícolas y zonas de vegetación montana natural. Una vez obtenida la información por fotointerpretación, esta se restituyó por gráficos y mecánicos para transformar las imágenes fotográficas, que se encuentran siempre en proyección central, a la proyección ortogonal; el producto de este proceso son los rasgos a línea obtenidos de la fotografía, es decir un mapa lineal, el cual estuvo apoyado con el mapa topográfico 1:50,000 de la zona de estudio.

Se cuantificó y representó espacialmente el aumento del área agrícola a nivel regional comparando los resultados de la fotointerpretación de las diferentes fechas (1975 y 1995). Los mapas resultantes fueron capturados en el programa AutoCAD10 y a partir de estos datos se hizo la cuantificación y comparación del área agrícola y la no agrícola, y se calculó la tasa de anual de incremento de la frontera agrícola o la tasa de pérdida forestal (Nacimiento, 1991).

#### **b) Nivel local**

En una segunda fase a escala local, se trabajó sólo en el Municipio de Tlachichuca, en el que además de evaluar el cambio de uso se identificaron las grandes asociaciones de vegetación arbórea y se definió la zona de contacto con áreas agrícolas. En las fotos más recientes (1995) se fotointerpretaron los usos del suelo y las grandes asociaciones vegetales que se encontraron, aunque cabe mencionar que la escala por sí misma limitó el grado de definición que se podía obtener de la interpretación, ya que como lo señala Morello (1968, en Gérez, 1983) para lograr una clasificación de la vegetación al nivel de géneros es necesario trabajar con escalas menores a 1:35,000; por lo tanto sólo se delimitaron unidades de uso de suelo y grandes asociaciones de vegetación, esto con base en el tono, textura y tamaño de la copa de los elementos dominantes de la vegetación. Debido a que el objetivo planteado fué la obtención de un mapa de uso del suelo y la delimitación del área de contacto entre los bosques y la zona agrícola, se consideró aceptable este nivel de definición de la fotointerpretación.

#### 5.4. Análisis de uso del suelo a escala local

La selección del municipio y las comunidades para el estudio local se realizó con base en tres criterios importantes: i) principales cambios en el uso del suelo resultado de la fotointerpretación 1975-1995, ii) índices socioeconómicos y tenencia de la tierra; y iii) localización de poblados con recursos forestales en sus comunidades.

Con base en la información de la tenencia de la tierra, superficies agrícolas en contacto con zonas forestales y la localización altitudinal de las parcelas; se decidió investigar el impacto del cambio de uso del suelo en áreas agrícolas y forestales en poblados del municipio de Tlachichuca. A partir de lo anterior y tomando como base los antecedentes bibliográficos de uso de suelo para la zona de estudio se eligieron cuatro comunidades, en las cuales se llevó a cabo un diagnóstico socioeconómico mediante una encuesta de campo (Villers, 1989 y García del Valle, 2000). Se tomó a la familia como núcleo productor y se escogió una muestra mínima de 10% de las familias de cada comunidad; en total se aplicaron 102 encuestas (Formato en anexo 2) que tuvieron como objetivo:

- Conocer las actividades agrícolas, pecuarias y forestales que se llevan a cabo en algunas comunidades montañas del Citlaltépetl.
- Identificar sitios y parcelas para realizar el estudio edafológico.

Los datos anteriores dieron como resultado una zonificación que relaciona zonas de uso agropecuario con el gradiente altitudinal de vegetación natural (Kappelle, M y Juárez, M.E., 1995).

#### 5.5 Selección de sitios y colecta de muestras edafológicas

Para este objetivo se tomaron en cuenta varios criterios: tipo de vegetación, caminos y facilidad de acceso, tiempo de uso agrícola y ejido al que pertenece la parcela. A partir de lo anterior se definieron los sitios que se muestran en la Tabla 8, entre paréntesis se muestra el número de repeticiones de sitio con la misma condición; en total se muestrearon 20 sitios.

**Tabla 8.** Número de sitios propuestos para realizar el análisis edafológico

Sitios forestales	Sitios agrícolas
Bosque de Pino (4)	Cultivos agrícolas donde hubo bosque de pino (4)
Bosque de Oyamel (3)	Cultivos agrícolas donde hubo bosque de oyamel (3)
Bosque Mixto (3)	Cultivos agrícolas donde hubo bosque mixto (3)

En cada sitio se obtuvieron muestras del horizonte superficial ("A") ya que el objetivo era medir los cambios en el corto plazo sobre la capa agrícola (la superficie de uso del suelo) y no una clasificación de

suelos. La toma de muestras se llevó a cabo entre los meses de abril y octubre de 1998. El muestreo para la determinación de características físicas y químicas consistió de los siguientes pasos:

- En cada sitio se hizo una excavación que formaba un cubo de 30 cm de lado.
- Se describió el horizonte A (color, agregados, humedad) y se tomó una muestra para su análisis.
- Para cada sitio se hizo una descripción de la vegetación, pendiente, orientación, tipos de cultivos y rasgos de perturbación en las inmediaciones del lugar.
- De cada sitio se hicieron muestras compuestas, es decir se tomaron tres muestras con las cuales se formó una sola muestra a partes iguales, con el fin de obtener una muestra homogénea y representativa de la parcela.
- Se obtuvo la localización de cada sitio tomando los datos con geoposicionador (GPS) Magellan

#### 5.6 Análisis de Laboratorio

Las muestras se secaron sobre papel secante y posteriormente se tamizaron con malla de 2 mm. Se decidió analizar las siguientes características físicas y químicas, con el fin de tener datos precisos en cada condición de uso (forestal / agrícola).

- Color. Se tomaron dos pequeñas porciones de cada una de las muestras, una en seco y una en húmedo y se determina el color según la Tabla de Color de Munsell (1954 )
- pH se determinó con un potenciómetro en una relación 1:2 en agua y también utilizando Cloruro de Potasio 1N (Aguilera y Domínguez, 1989).
- Densidad aparente. Con el método de la probeta se llevó a cabo una relación entre el peso de la muestra y el volumen de la misma (Aguilera y Domínguez, op cit).
- Densidad real y porosidad. Usando el método del picnómetro.
- Textura. Utilizando el método de Bouyoucos (1962 citado en Aguilera y Domínguez, op cit).
- Contenido de carbono y materia orgánica de suelos, método de Walkley y Black (Nelson y Sommers, 1982). Este método es rápido y exacto, basándose en la oxidación de la materia orgánica del suelo, usando dicromato de potasio.
- Determinación de contenido de nitrógeno, por el método de micro-Kjeldahl.
- Concentración de saturación en bases, utilizando la fracción intercambiable del K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>+</sup> y Mg<sup>+</sup>.
- Capacidad de intercambio catiónico. En este también se usan los cationes anteriores, ya que en el suelo ácido de los bosques, estos cationes actúan como bases y la capacidad de intercambiar cargas, da un diagnóstico de la calidad de ese suelo.

### 5.7 Análisis de la información

Los datos obtenidos de los análisis físicos (densidad aparente, densidad real) y químicos (pH, % carbono, nitrógeno, etc.) se procesaron mediante pruebas estadísticas no paramétricas. La primera prueba fue la comparación de medias de Kruskal-Wallis para detectar diferencias en general y después un análisis de par de medias mediante la "U" de Mann-Whitney (Sokal y Rohlf, 1981). La primera comparación se hizo para detectar diferencias entre suelos forestales y agrícolas y la segunda prueba para evaluar las diferencias dentro de cada par de suelos, ya sea forestal o agrícola. Se usó el programa STATISTICA para Windows, versión 4.3.

### 5.8 Relación suelo – comunidad forestal y/o agrícola

Análisis multivariado. Se utilizó el análisis canónico de correspondencias (ACC) (ter Braak, 1986), para detectar cuáles parámetros edafocológicos explican mejor las asociaciones vegetales (Jongman *et al.*, 1987). En este estudio se utilizaron datos de especies vegetales de Rojas-Viloria (en prensa) que se localizaron en las asociaciones boscosas y las especies vegetales encontradas en sitios agrícolas.

Dos matrices o bases de datos se usaron para el análisis multivariado:

- "variables edafocológicas / sitios"

Que incluye 17 variables: pH-KCl, pH agua, % arena, arcilla, limo, densidad aparente, densidad real, % de porosidad, % de materia orgánica, % de nitrógeno total, capacidad de intercambio catiónico (CIC), bases intercambiables (calcio, magnesio, sodio y potasio), pendiente (grados), altitud (metros). Estas variables fueron analizadas en los 20 sitios y no incluyen datos categóricos.

- "Especies de cada asociación / sitios",

Que incluye un total de 52 especies encontradas en los 20 sitios forestales y agrícolas.

El ACC incorpora la correlación y la regresión entre los datos florísticos, los factores ambientales y los sitios y da como resultado un arreglo en un espacio de pocas dimensiones, de tal manera que aquellas entidades más similares aparecen más cercanas y las que tienen menores similitudes más alejadas. El resultado consiste en un diagrama de ordenación en el cual se ubican las especies y los sitios en forma de puntos sobre el diagrama y las variables en forma de flechas. La interpretación de los datos producidos por CANOCO se basa en las siguientes consideraciones: 1) cada flecha representa una variable ambiental que determina una dirección de la variación del gradiente o eje en el gráfico; 2) la longitud indica la importancia de la variable en la construcción del eje; 3) los puntos correspondientes a las especies o a los sitios pueden entonces proyectarse sobre los ejes para

precisar su relación con dicha variable (Ter Braak, 1986). Así, la mayor cercanía de un punto con una variable dada determina una mayor correlación positiva con ella y las flechas pueden entonces extenderse hacia ambos extremos del origen para facilitar su interpretación.

## 6. Resultados y discusión

### 6.1. Historia del uso del suelo en las faldas del Volcán Pico de Orizaba

Los análisis palinológicos realizados en sedimentos del Pleistoceno reciente y Holoceno indican que antes de que el ser humano poblara esta región, hace aproximadamente 30 – 35 mil años, la vegetación del Citlaltépetl se componía principalmente de *Pinus spp.* (50-70%) y *Quercus spp.* (25-33%) y otros géneros de coníferas y caducifolias (menos de 3%). A través del tiempo se observa un avance y retroceso constante de dichos géneros, que alcanzan valores máximos de 90-98% y mínimos de 65-75% respectivamente (Ohngemach y Straka, 1978).

El polen del abeto rojo *Picea spp.* (Ohngemach y Straka, 1978) y del género *Pseudotsuga*, con valores parecidos a los del oyamel, muestran que estos debieron tener una extensión meridional mucho mayor que la actual durante la glaciación Wisconsin. Es posible que estos géneros hayan existido en los macizos montañosos entre el Cofre de Perote y el Pico de Orizaba<sup>1</sup>, ya que se ha reportado la existencia de pequeños manchones (aproximadamente 50 ha) de abeto Douglas (*P. menziensis*) en el poblado de Cuahutemoc Lafragua a 30 km al noroeste del Pico de Orizaba, especímenes de entre 200 y 500 años de antigüedad (Therrell, 2003). La curva polínica de dicho género desaparece antes de los dos máximos de *Quercus*, lo que lleva a suponer que el final del Pleistoceno se caracterizó por la desaparición de géneros como *Picea* y *Pseudotsuga* en la región.

A partir del comienzo de las actividades agrícolas y del establecimiento de poblaciones sedentarias en México, los bosques de pino y encino se encuentran entre los tipos de vegetación más afectados por los asentamientos y las actividades del ser humano, como se señaló en la sección de antecedentes. La región del Citlaltépetl estuvo poblada desde tiempos remotos (siglo XV al XII A.C.), sin embargo por las características climáticas de la región, es posible que hayan presentado una agricultura precaria, pero que ya representaba una presión sobre el ambiente natural al extraer recursos naturales de la región como, *Yucca sp.* para elaborar cestos (Medellin-Zenil, 1975).

Los siglos VI-IX d.c. se caracterizan por la existencia de varios asentamientos nahuas y totonacos de gran importancia, que seguramente presentaron una agricultura formal de cultivos como maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*) y maguey (*Agave sp.*).

A partir de la conquista de América, el desarrollo en la zona está relacionado directamente con su situación geográfica, ya que se encuentra justo en el camino que va de la Ciudad de México al puerto de Veracruz; por aquí pasaban los comerciantes con las mercancías que entraban y salían de la Nueva España. Por tal razón, a lo largo del camino real que atraviesa la región se fundaron una serie de ventas o mesones

<sup>1</sup> En una salida de campo se colectaron ejemplares de un espécimen que fue determinado dentro del género *Pseudotsuga spp.*

para atención del viajero. Con el tiempo algunas de estas ventas se convirtieron en pueblos; tal como sucedió con las actuales cabeceras municipales de Cd. Serdán, Libres y Amozoc (Gerhard, 1972).

Como resultado de la fundación de varios pueblos, la tierra comenzó a repartirse entre los nuevos colonos. La agricultura se convirtió en la actividad más importante de la región, ya que además de satisfacer las necesidades locales y regionales proveía de alimentos a la flota de Veracruz-Cádiz y a otras regiones del país. Se estableció una zona agrícola denominada Valle de San Pablo (actualmente zona de Libres, Puebla) que llegó a ser el área más próspera y mejor cultivada de la Nueva España (Florescano *et al.*, 1973).

Con la llegada de los españoles al Nuevo Mundo llegaron también especies animales y vegetales desconocidas en estas tierras, que cambiaron el uso del suelo y comenzaron a colonizar nuevas tierras. Al respecto Florescano (op cit) indica que "después de la invención de la agricultura en los tiempos prehistóricos, la segunda revolución que transformó el suelo mexicano ocurrió unas décadas después de la conquista, cuando se combinó el descenso brutal de la población nativa con la penetración de los españoles en el territorio y la expansión en él de las plantas y animales europeos. A mediados del siglo XVI los valles de Puebla-Tlaxcala y la cuenca de México sorprendían al viajero con un paisaje agrícola mestizo, donde el maíz, el frijol, las calabazas y el chile alternaban con el trigo, la cebada, las legumbres y las frutas europeas. Pero el impacto más violento en el paisaje natural lo causó la introducción del ganado....nada causó tanto estupor a los nativos como la prodigiosa multiplicación de las vacas, caballos, ovejas, cabras, puercos, mulas y burros que en breves años poblaron la Nueva España y cambiaron súbitamente la fauna original y el uso del suelo"

Durante el siglo XVII siguieron estableciéndose nuevos colonos y fundándose más pueblos. Los repartos de tierras para la agricultura y ganadería continuaron, así como las funciones de servicio a los viajeros de paso en el camino México-Veracruz, (Gérez, 1983). Torquemada (1615) describe la zona cubierta de pino piñonero (*Pinus cembroides*) y poblada de ciervos pardos llamados berrendos. Los piñoneros eran derrumbados sin ningún control para tomar sus frutos.

Las primeras leyes que promovieron la conservación de los montes aparecieron en el siglo XVIII, fomentaban el aumento de plantíos con el fin de que los daños no se hicieran mayores e irreparables. Se evitó cortar, arrancar o quemar árboles sin plantar en su lugar otros.

Existen numerosos registros del siglo XIX sobre el ambiente natural y sus condiciones. Galeotti comenzó ascensos al Pico de Orizaba en 1838 y los continuó en los siguientes años. En 1861, cerca del límite superior de la vegetación arbórea describe lo siguiente:

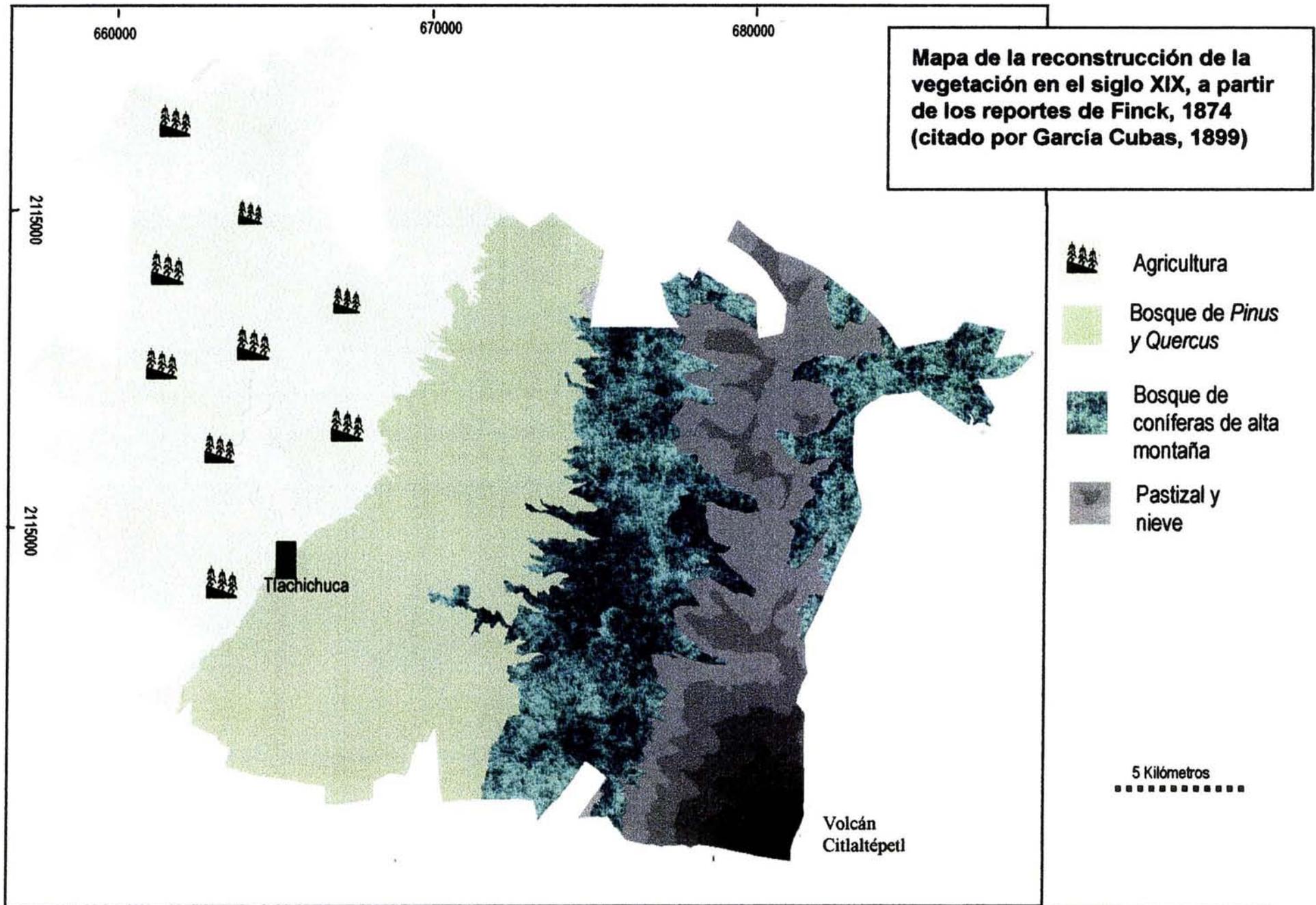
"...y mientras, recorrimos los montes buscando plantas e insectos. En el reino vegetal he recogido como 200 especies encontradas entre las alturas de 9,000 (2,700 m.s.n.m.) y 13,000 pies franceses (3,900 m.s.n.m.) en las cuales especies se ven más de 300 compositae y 20 graminae....He encontrado mariposas debajo de los traquites sueltos, con un lagarto de vientre azul a 15,000 pies franceses (4,500 m.s.n.m.). La

cebolleja *Ovesatrum frigidum* se encuentra mucho aquí y ahora floreando....en sus cercanías crecen oyameles (*Pinus religiosa*), papa silvestre, el *Alnus jorulensis* que acaba su reino a 10,200 pies franceses (3,060 m.s.n.m.)".

García Cubas (1899) reporta que Hugo Finck hizo un viaje en Noviembre de 1874 hacia el Citlaltepelt para estudiar la geología, observar la flora de invierno en alturas mayores a 7,000 pies (2,100 m.s.n.m.) y coleccionar semillas de coníferas y de otras plantas notables. Finck encontró que a los 8,000 pies (2,400 m.s.n.m.) principiaba la zona de los encinos, que son muy variados, pocos de hojas grandes, la mayor parte de hojas pequeñas. Puede haber 20 especies diferentes, la mayor parte desconocidas de los botánicos. Por encima de los 9,000 pies (2700 m.s.n.m.) hay algunos *Arbutus*, con racimos de flores blancas, que llegan a ser árboles de 30 centímetros de grueso y diez a doce metros de altura. El *Penstemon gentianoides* con sus grandes espigas de flores mitad blanca y mitad azules, *Lupinus*, *Campanula*, *Delphinium*, *Potentilla*, *Mimulus*, *Salvia*, etc. abundan igualmente. Las tres especies de *Pinus* que existen son todas de cinco agujas, los de tres como el *P. leiophylla* han desaparecido o más bien han sido exterminados. Textualmente describe: "entre los 8,000 pies (2,400 m.s.n.m.) y 9,000 pies (2,700 m.s.n.m.) se ve de lejos en lejos un *Pinus orizavensis* o un *Pinus ayacahuite* de poca altura y de fecha reciente, y no se encuentran más que campos de maíz, adonde hace 27 años vi encinos y pinos colosales."

Cuenta que al llegar a los 9,000 pies (2700 m.s.n.m.) desaparecen los encinos para dar lugar a coníferas colosales, las cuales miden entre 30 y 80 metros de altura. El *Pinus russelliana*, la *Picea religiosa* y los otros dos ya mencionados constituyen todas las coníferas que aún existen (1874) y que avanzan a los 12,500 pies (3,750 msnm), pero pasando los 11,000 (3,300 msnm) disminuyen gradualmente de tamaño hasta no tener dos o tres metros de altura. Entre los 9 y 10,000 pies (2,700 y 3,000 msnm) la vegetación menuda se hiela, con excepción de algunas gramíneas como *Cardus*, *Cineraria* y *Habrothammus*.

En la Figura 4 se muestra un mapa elaborado con base en documentos de viaje y expedientes del siglo XIX, que es una reconstrucción del uso de la tierra en 1874, donde hubo una zona baja de agricultura extensiva y de temporal, seguida por una zona boscosa donde debió haber importantes masas forestales de encinos y pinos. Las zonas más altas estaban cubiertas por bosque de coníferas de alta montaña, como *Abies religiosa* y *Pinus hartwegii*.



**Figura 4.** Reconstrucción de la cubierta vegetal de la parte nor-occidental del Pico de Orizaba, Siglo XIX, a partir de reportes de Finck, 1874 (en García-Cubas, 1899). Tlachichuca, Puebla, México

El naturalista Finck también hace notar con gran pesar lo siguiente:

"Es triste ver que en una distancia de 5 leguas que hace 27 años vi toda cubierta de encinos y coníferas, hoy no existen más que los troncos de los primeros, cubiertos de unos cuantos renuevos, y los segundos solo una especie de mediano tamaño esparcida de lejos en lejos. He visto grandes siembras de maíz en medio de troncos colosales de coníferas derribados en el suelo con el hacha, sin dar provecho de ninguna clase, y que el siguiente año serán quemados, sin dar más utilidad que la de abonar con su ceniza una tierra de por sí extraordinariamente fértil."

Localmente la construcción del ferrocarril, que uniera a la Ciudad de México con el puerto de Veracruz, ejerció presión sobre los bosques, ya que de ellos se extrajeron los durmientes necesarios. Cabe mencionar que las políticas agrarias de estas épocas consideraban a las tierras forestales como áreas ociosas sin ninguna utilidad, por lo que el desmonte era común y no era penado. Dentro del área existió un gran aserradero, denominado Santa María, que actualmente es la comunidad de Santa María del Aserradero, al cual llegaba una rama de las vías férreas. En la Figura 5 se localizan algunos poblados actuales que albergaron grandes haciendas, como las Hacienda Santa Inés Varela, El Espiguero, Jalapasco y San Cayetano.

No se sabe con exactitud a partir de que fecha los bosques del Pico de Orizaba, así como el cono volcánico, pasaron a ser propiedad de la Familia Tres Palacios<sup>2</sup> pero en el último siglo, a partir de la Revolución de 1910, la tenencia de la tierra sufrió un cambio drástico y las numerosas haciendas fueron fraccionadas. En 1925 se realizaron los primeros repartos ejidales en la zona, como consecuencia de los cuales se formó la comunidad de Paso Nacional, una de las más antiguas dentro del área de estudio. Antes de esta fecha ya había haciendas que rentaban parte o la totalidad de sus tierras.

Ligada a estas reformas de tenencia de la tierra se dió la explotación forestal intensiva de pinos y de oyameles; se tienen reportes de la existencia de árboles cuyos troncos tenían diámetros de 2.40 m. (Geréz, 1983). Es tal la situación forestal que en 1938, por decreto, se declara Reserva Forestal Nacional al Pico de Orizaba cuyo límite altitudinal inferior es aproximadamente los 3500 m. Pero esta medida solo ocasionó la tala clandestina de los bosques y la reserva no logró cumplir sus objetivos. Aunado a esto en los albores de la década de los sesenta se forman algunas comunidades (El Cajón, La Jícara, Puerto Nacional y Miguel Hidalgo, que se muestran en la Figura 5) como consecuencia de lo cual, se incrementó la búsqueda de tierras que labrar, ampliando en gran medida la frontera agrícola.

---

<sup>2</sup> Datos proporcionados por Sr. Serafín Mendoza (78 años) que es el administrador de la Hacienda "Los Jalapascos".

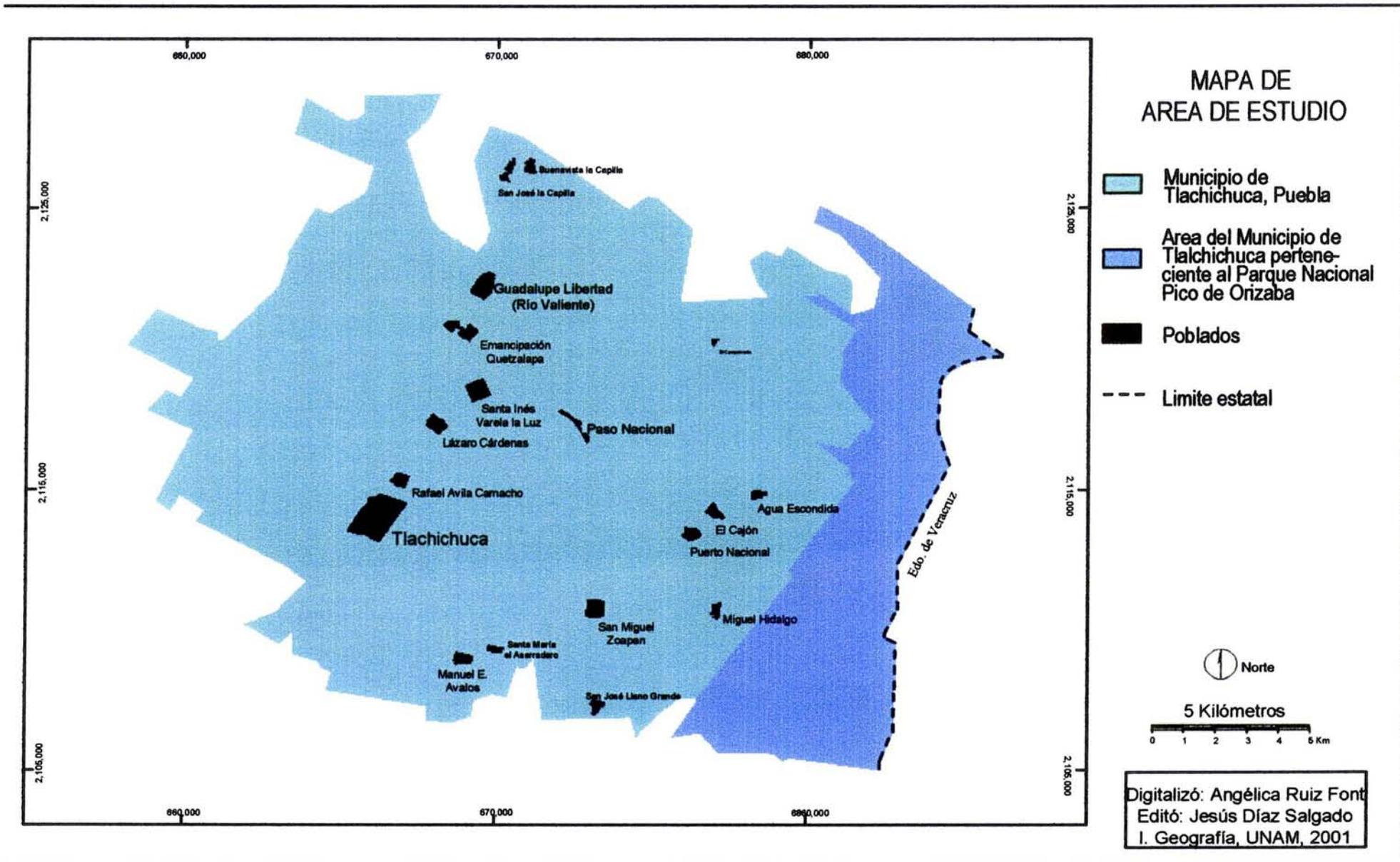


Figura 5. Ubicación de las principales haciendas y de las comunidades que se localizan a mayor altitud en el Citlaltépetl. Tlaxichuca, Puebla. México.

## 6.2 Tasa de incremento de área agrícola

La mayoría de las definiciones recopiladas por Lund (1999) sobre el término deforestación se refieren a procesos de remoción de la cubierta vegetal por un período largo o permanentemente. En los lineamientos del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC en Watson *et al.*, 2000), se enfatiza que la conversión de los bosques a pastizales, cultivos agrícolas u otros usos que no sean forestal, es considerado también como deforestación. En el caso particular de esta investigación, se usa el término "cambio de uso" para definir los procesos de deforestación que conlleva la remoción de la cubierta vegetal natural con el fin de darle un uso agropecuario al suelo.

En este caso se cuantificó el cambio de uso del suelo mediante el aumento del área agrícola. Se comparó el área obtenida por fotointerpretación de fotografías de dos fechas diferentes, noviembre/74 y agosto/75 a escala 1:50,000; y mayo/1995 escala 1:75,000. Mediante el uso del estereoscopio de espejos se fotointerpretó y el mapa resultante fue restituido de manera manual, para posteriormente digitalizarlo.

El área total analizada en los tres municipios (Cd. Serdán, Tlachichuca y Atzitzintla) es de 47,491 ha. De ésta se encontró que en 1974 -1975 el 27.6% (13,122 ha) era zona agrícola y el resto era zona boscosa (34,369 ha). En particular el municipio que tenía mayor porcentaje de área agrícola era Cd. Serdán, con 37.3 % del total.

Para 1995 se observa un incremento en el área agrícola ya que cubría el 29.8 % (14,166 ha) del área total de los tres municipios, y el remanente boscoso era de 33,125 ha.

A partir de estos datos se hizo la comparación del área agrícola y la no agrícola o boscosa, con el objetivo de calcular la tasa de anual de incremento de la frontera agrícola para la región, tratando de hacer una relación entre la deforestación y el aumento de zonas agrícolas. Para este trabajo la tasa de cambio<sup>3</sup> de uso forestal a agrícola se basó en la cuantificación de área agrícola y no agrícola, ésta última sin hacer distinción entre vegetación primaria o secundaria.

Área 1974-75	Área 1995	Tasa de cambio
34,369 ha	33,125 ha	0.14%

Este porcentaje indica que en el período 1974/1975 a 1995 el área con cubierta vegetal disminuyó de manera definitiva o al menos no hubo reforestación o recuperación en 20 años. El cambio de uso de forestal a agrícola tuvo una tasa de 0.14% anual, que implica, la conversión de 48 ha por año. En la Figura 6 se representa el cambio de uso del suelo 75-95 para el nivel regional.

<sup>3</sup> La tasa de pérdida forestal es el porcentaje de superficie forestal remanente que es cortada cada año, se expresa en porcentaje anual (Nacimiento, 1991) y se representa con la siguiente ecuación:

$$t = 100 - 100 (A2/A1)^{1/n} \dots\dots\dots (i)$$

donde:

A1= superficie forestal en la fecha 1 (superficie no agrícola en 1974/1975)

A2= superficie forestal en la fecha 2 (superficie no agrícola en 1995)

n = número de años entre las dos fechas.

El cambio de uso del suelo de estas áreas, un manejo intensivo y muy pocas prácticas de recuperación de la vegetación han dado como resultado un deterioro de los bosques y muy pocos procesos de recuperación (Rojas-Viloria, en prensa y Villers, 2000). En este sentido se utilizó el modelo exponencial de decaimiento de Dirzo y García (1992) para calcular el área forestal remanente en el tiempo, que depende de la cobertura existente y de la tasa de cambio<sup>4</sup>.

Extrapolando a partir de la última cobertura estimada (33,125 ha en 1995) y con la tasa de deforestación estimada, de 0.14% por año, se obtiene que de seguir con este proceso, en 20 años (año 2015) estos bosques quedarán reducidos a sólo 1403 ha, el 4% de lo que había en 1995. Este escenario sería resultado de los procesos de expansión agrícola, de la nula vigilancia de los bosques, la tala clandestina, el incremento de áreas de ganadería extensiva y el que no se asuman las políticas de protección en áreas naturales protegidas.

La tasa de cambio de 0.14% en bosques templados del Pico de Orizaba es muy baja en relación al dato oficial de la Secretaría del medio ambiente (Semarnap, 1999) de 0.64% para bosques de coníferas. Esto se explica debido a que en fechas anteriores a la primera fecha utilizada en este trabajo (1974-1975) ya se habían aclareado grandes zonas boscosas; cabe recordar que desde la década de 1940, con la creación de aserraderos cercanos a esta región, se desmontaron grandes zonas, a la par que se expandieron algunas comunidades aledañas al Parque Nacional, y posteriormente en los años sesentas se crearon y dotaron terrenos al interior del antiguo límite del Parque Nacional a cuatro comunidades más, recorriendo de esta manera el límite de la reserva forestal decretada en 1938.

En el ámbito nacional se han hecho estudios sobre los procesos de deforestación, los cuales tienen dos vertientes: un escenario pesimista que considera tasas de cambio para bosques templados de entre 1.5% y 2.0% anual (Mas *et al.*, 1996) y otro escenario optimista en el que con prácticas de conservación, la tasa de pérdida boscosa podría ser de 0.7% por año (Maser *et al.*, 1997). Ambas tasas de cambio son muy superiores a lo encontrado en este trabajo para la zona noroccidental del Pico de Orizaba.

Por otro lado los datos oficiales (SEMARNAP, 1999) informan que de acuerdo a propias evaluaciones y modificaciones a tasas de deforestación, los bosques de coníferas disminuyeron en un 0.64% anual en el periodo 1995-1997, debido principalmente en orden de importancia a incendios, pastoreo, agricultura y tala ilegal.

Por otra parte, si se comparan las tasas de deforestación que se registran en otros tipos de vegetación como por ejemplo las selvas bajas, donde Trejo y Dirzo (2000) reportan tasa de deforestación para las selvas

<sup>4</sup>  $AFR = A1 (1-r)^t$

AFR = el área forestal remanente

A1 = área de cobertura vegetal

r = tasa de cambio de uso

t = lapso de tiempo

bajas de 1.4% por año para el periodo 1973-1989 y para selva alta Dirzo y García (1992) reportan una tasa de 4.3% por año. Ambas tasas de deforestación se encuentran muy por encima de lo encontrado en este trabajo para bosques templados. Lo anterior es debido a que en los bosques templados los procesos de deforestación de mayor escala y el cambio de uso hacia la apertura de zonas agrícolas, se realizaron como se indica en este trabajo a principios del siglo pasado o son más antiguas como se indica en los datos históricos presentados con anterioridad.

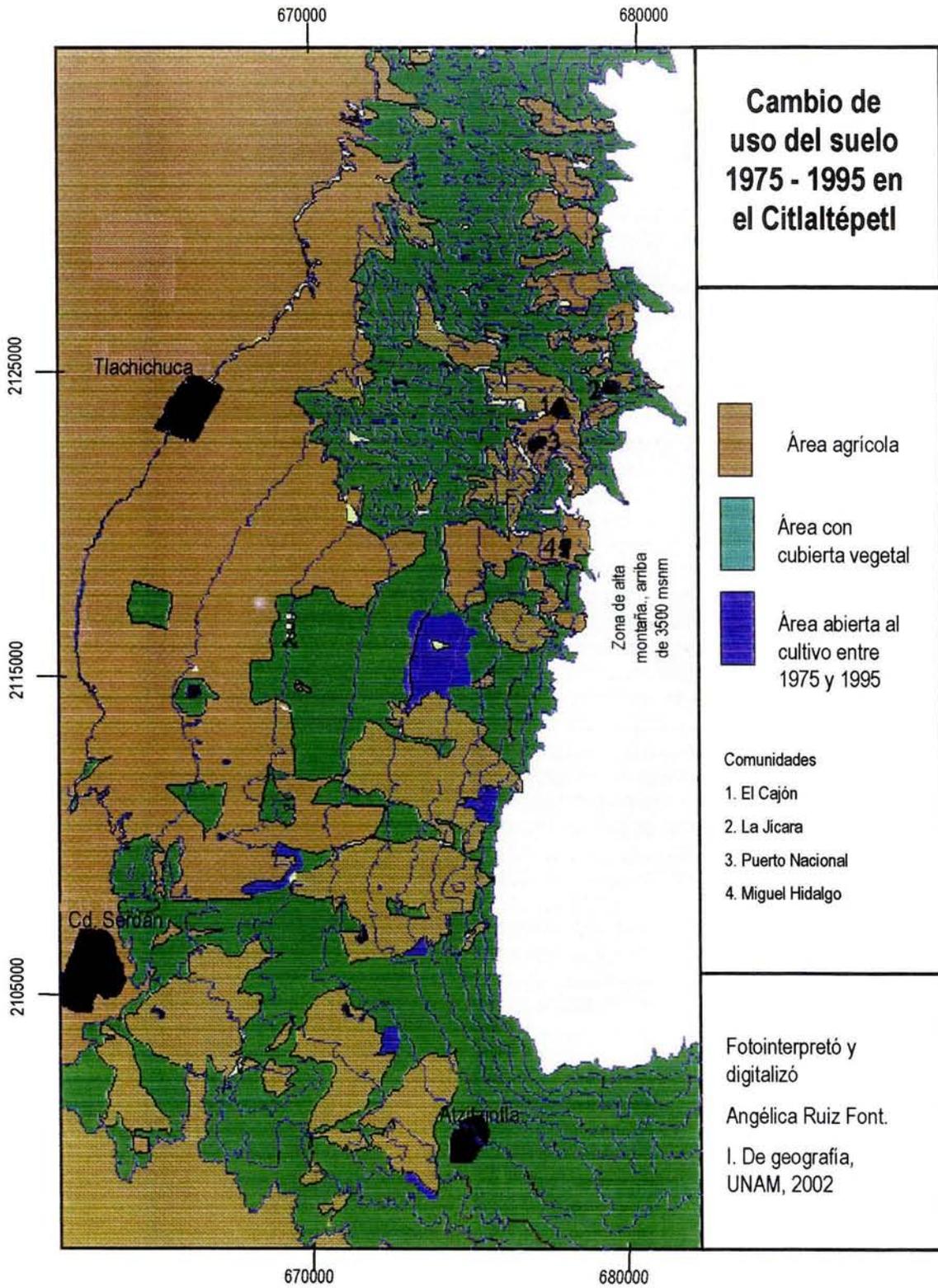


Figura 6. Cambio de uso en 20 años en la zona occidental del Citlaltépetl. Puebla,

### 6.3 Actividades productivas en el Citlaltépetl.

Con el fin de caracterizar algunos aspectos fundamentales en el uso de la tierra a nivel municipal se analizaron datos de agricultura, ganadería y recursos forestales de la región de Tlachichuca, Cd. Serdán y Atzitzintla, que son los municipios del Estado de Puebla que rodean la zona forestal del Volcán Citlaltépetl.

La evolución del uso de la tierra en los últimos 50 años muestra que ha predominado en los tres municipios la actividad agrícola, la cual ocupa la mayor cantidad de tierra, con un total de 58,057 ha que representa el 67% de la tierra.

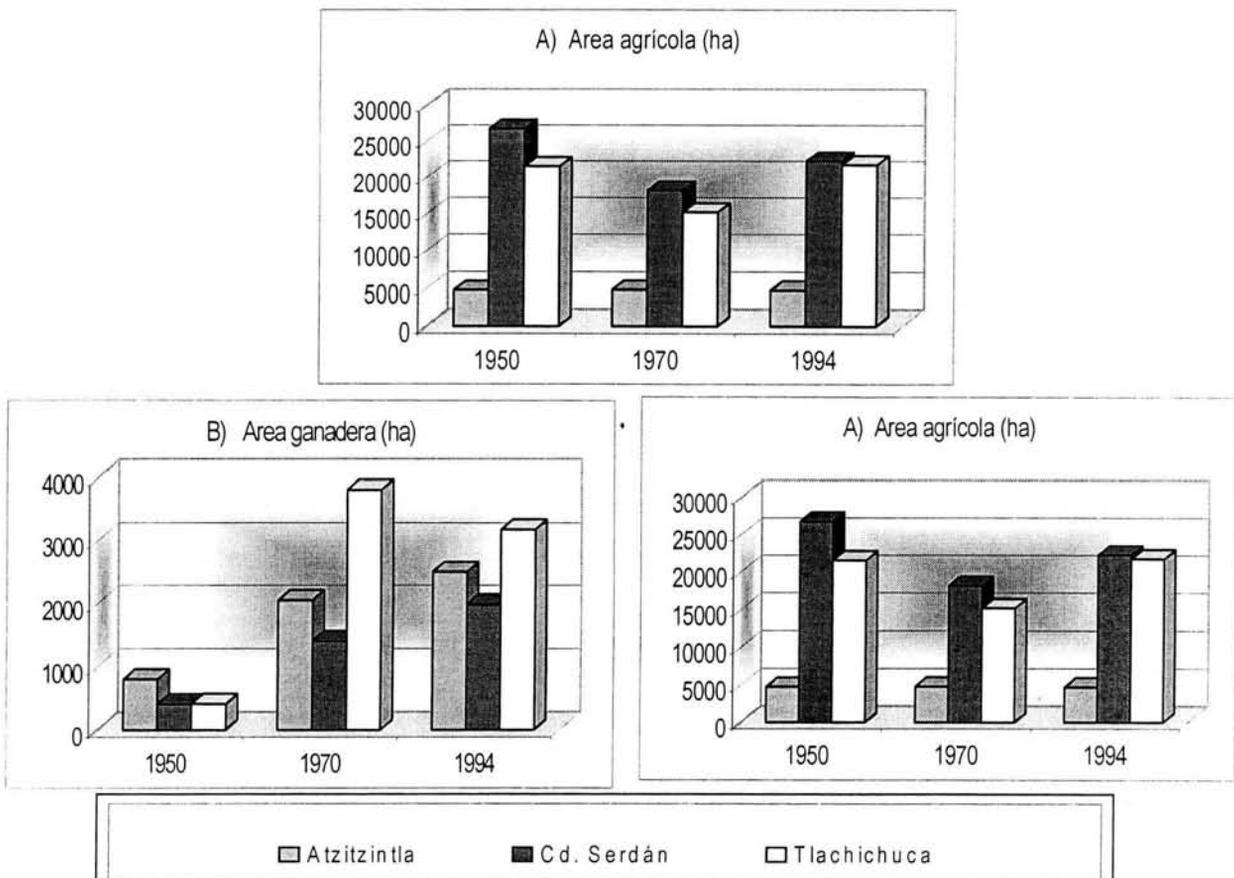


Figura 7. Evolución del uso del suelo en 45 años en la región de Atzitzintla, Cd. Serdán y Tlachichuca, Puebla (INEGI, 1994 b).

La Figura 7-A muestra que durante los años cincuenta las zonas agrícolas más extensas se presentaban en Tlachichuca y Cd. Serdán. La figura 7-B muestra el crecimiento continuo de las áreas de pastoreo; por ejemplo en Tlachichuca se incrementó casi 10 veces el área para ganadería en 20 años y disminuyó casi en un 80% el área de bosque (Figura 7-C). Esto explica por que a pesar de la deforestación en

de este periodo no se incrementó el área agrícola, sino el área ganadera, proceso característico de la región en esa época.

Se reconoce que las actividades agrícolas han ido en decremento debido al costo tan elevado que tienen los insumos y a la disminución en el precio de venta de la producción. La actividad que aumentó fue la ganadería debido en parte a que en los últimos años los programas sociales (SEDESOL) promovieron la cría de ganado como alternativa de mejorar la alimentación y la economía de la población rural.

La mayor proporción (48%) de la tierra es de propiedad ejidal. El municipio de Cd. Serdán sobresale de los demás por tener una mayor superficie bajo este tipo de tenencia; y la menor proporción de tierras ejidales el municipio de Atzitzintla (Tabla 9). Por otro lado el municipio que presenta la mayor superficie boscosa es Tlachichuca (15% de su área ejidal total).

**Tabla 9.** Distribución reciente de superficie ejidal, superficie boscosa, superficie de labor (INEGI, 1994a)

	Atzitzintla	Cd. Serdán	Tlachichuca
Ejido	<u>37.2%</u> 5457 ha	<u>56.4%</u> 25178 ha	<u>51.7%</u> 27422 ha
Bosque	<u>11.0%</u> 600 ha	<u>4.1%</u> 1033 ha	<u>15.3%</u> 4184 ha
Labor	<u>53.6%</u> 2927 ha	<u>74.5%</u> 18763 ha	<u>76.5%</u> 20991 ha

Los poblados que se encuentran enclavados en el Pico de Orizaba, por encima de los 3000 metros se listan en la Tabla 10. A partir de esta cota se localizan los remanentes de bosque mejor conservados.

**Tabla 10.** Comunidades que se ubican por encima de 2600 m en la zona del Citlaltepétl, Puebla.

Comunidad	Altura (msnm)	Municipio
La Jicara	3300	Tlachichuca
El Cajón	3150	Tlachichuca
Puerto Nacional	3200	Tlachichuca
Miquel Hidalgo	3400	Tlachichuca
Zoapan	3000	Tlachichuca
San José Llano Grande	3040	Tlachichuca
San Isidro Canoas Altas	3000	Cd. Serdán
Atzitzintla	3000	Atzitzintla

A partir de este análisis y verificando en la fotointerpretación, el municipio de Tlachichuca presenta la mayor área de bosque conservado, por lo que se decidió trabajar las encuestas y el análisis edafológico en las comunidades montañosas de este municipio y se excluyeron a las comunidades de San Isidro Canoas Altas de Cd. Serdán, la cabecera de Atzitzintla y a Zoapan del Municipio de Tlachichuca. Se seleccionaron aquellas

comunidades que se encontraban en zonas de mayor altitud y que presentan zonas agrícolas con bosque colindante.

### 6.3.1 Estudio Local: Municipio de Tlachichuca

En el municipio de Tlachichuca se dedica una gran superficie a la agricultura y una menor proporción al área urbana. La mayor parte de las tierras presenta tenencia ejidal, seguida por la federal y la privada que se encuentra en muy baja proporción. La tierra disponible corresponde a áreas de monte a las que no se ha designado dueño alguno, son del orden municipal y éste decide a quién autoriza para usarlas.

La calidad de la tierra está estrechamente relacionada con la disponibilidad de agua, en este municipio la mayoría de los cultivos son de temporal, por lo que se obtiene una sola cosecha al año. Solo una pequeña proporción (0.4%) se considera tierra de buena calidad (agricultura de riego), el resto corresponde a monte (0.3%) y no disponible (0.3%).

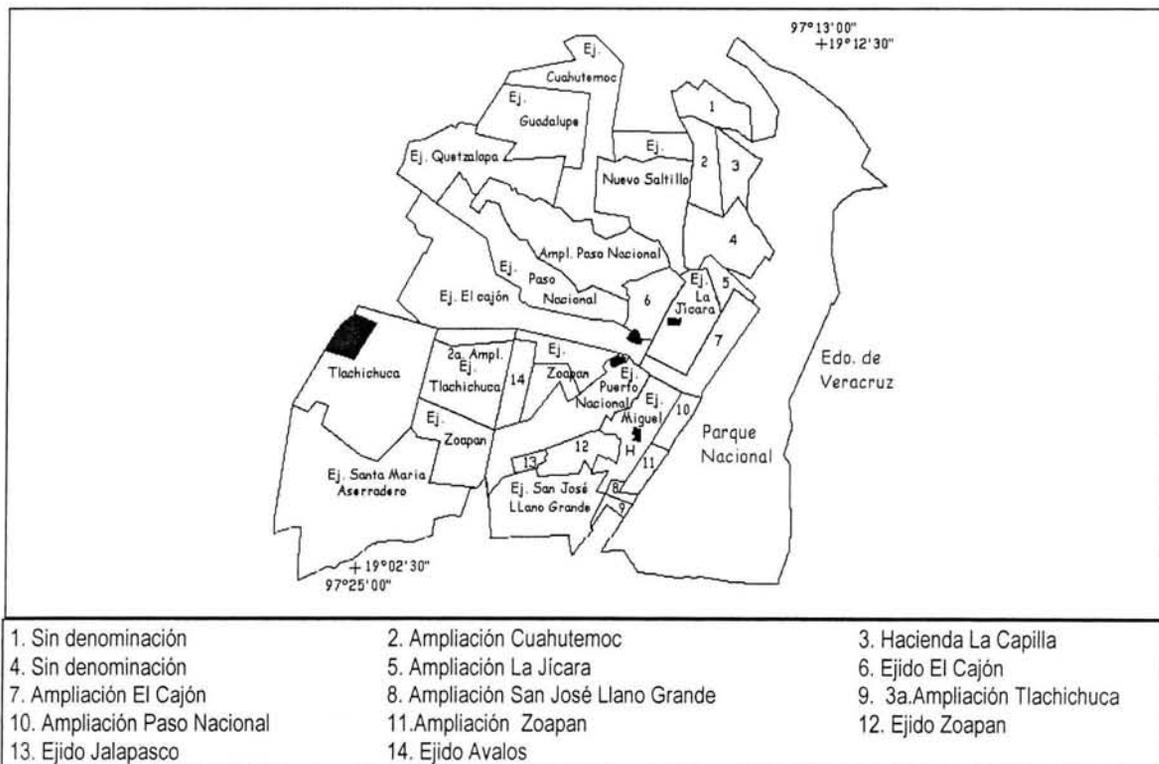


Figura 8. Ejidos del Municipio de Tlachichuca y comunidades que se ubican por encima de los 2600 msnm.

A partir de la reforma agraria de 1942-1943 se constituyen 17 ejidos dentro del municipio de Tlachichuca, la mayor parte con tierras de grandes Haciendas que existieron en esta zona. En la Figura 8 se muestran los ejidos del Municipio de Tlachichuca que se ubican entre los 2600 y 3500 m

Las comunidades en las que se determinó trabajar se encuentran por encima de los 3100 m, donde la actividad agrícola se concentra a lo largo de los valles estrechos, principalmente sobre depósitos aluviales (terrazas y conos) y en las laderas. La Figura 8 muestra la ubicación de las comunidades montañas de El Cajón Oyamecalco, La Jícara Agua Escondida, Puerto Nacional y Miguel Hidalgo y Costilla, en las que se llevó a cabo el diagnóstico de actividades agropecuarias y forestales.

El poblado con mayor número de habitantes es El Cajón, debido a que se localiza en zonas bajas y es de fácil accesibilidad; por el contrario el poblado más alejado de la cabecera municipal es Miguel Hidalgo, que presenta una menor población. La Tabla 11 muestra el número de familias de cada poblado y el número de encuestas que se realizaron en cada una de ellas.

**Tabla 11.** Habitantes, número de familias y de encuestas realizadas en las comunidades montañas de Tlachichuca, Puebla (INEGI, 1994 a)

Ejido	Superficie	Población (1994)	Familias	No. Encuestas
El Cajón	1992	917	229	33
Puerto Nacional	725	652	163	27
La Jícara	735	714	178	28
Miguel Hidalgo	408	373	93	13

### ***Ejido El Cajón, Oyamecalco.***

En 1943 fue creado el Ejido El Cajón (Figura 9) y su ampliación, con la población y las propiedades de la Hacienda Santa Inés Varela. Tiene una superficie de 1992 ha, de las cuales 1250 ha están parceladas; 594 ha tienen uso comunal, 20 ha con asentamientos humanos, 30 ha están ocupadas por infraestructura (escuelas, carreteras, etc.) y 94 ha pertenecen a cuerpos de agua. Cuando se realizó este estudio (1998), el número de ejidatarios había disminuido debido a la migración en busca de mejores oportunidades, quedando solamente alrededor de 100 de los casi 400 ejidatarios a los que originalmente se les dotó de tierras con un promedio de 5 ha. por ejidatario.



**Figura 9.** Comunidad el Cajón, Oyamelcalco, Municipio de Tlachichuca, Puebla. México.

El maíz y el frijol se localizan en la parte baja del ejido, entre los 2600 – 3100 m.s.n.m.; y por encima de 3100 m se encontraron los cultivos de mayor resistencia al frío como la papa, haba y chícharo. En esta comunidad también se crían animales, principalmente borregos y cabras, seguidos por vacas, aves de corral, animales de carga (burros, caballos y mulas) y cerdos. Los resultados que arrojaron las encuestas mostraron que el principal uso del suelo es la agricultura; los cultivos predominantes aparecen en la Tabla 12.

**Tabla 12.** Cultivos en el ejido del Cajón, Municipio de Tlachichuca, Puebla.

Cultivo	Familias que lo cultivan
Haba	29.3 %
Maíz	29 %
Papa	22.4 %
Alverjón	10.3 %
Avena	5.3 %
Chícharo	3.4 %

En cuanto al nivel educativo, el 96% de los encuestados tiene estudios de primaria ya sea sin finalizar o terminada y el resto es analfabeta.

### ***Ejido La Jícara***

La población que formaría el ejido La Jícara Agua Escondida solicitó en 1932 la dotación de tierras pero se fundó hasta 1942, escogiéndose este lugar por la facilidad para acceder al agua del río El Salitrero. Esta comunidad fue dotada con propiedades que pertenecían a la Hacienda La Capilla, con 570 ha más una

ampliación de 165 ha (en el año de 1948). Se estima que originalmente el 25% de la dotación era monte. El total de ejidatarios es de 84, pero existe otra categoría denominada "poseionarios" que son migrantes que llegaron a asentarse en esta comunidad y se les asignaron algunas tierras.

De los encuestados, el 76% es propietario (trabaja su propia parcela), al 12% les son prestadas por sus familiares y el 12% restante la arriendan. La papa es el cultivo que tiene la mayor distribución en este ejido (Tabla 13).

**Tabla 13.** Cultivos en el ejido La Jícara, Municipio de Tlachichuca, Puebla.

Cultivo	Familias que lo cultivan
Papa	53.3 %
Papa y haba	26.7 %
Papa y avena	10.7 %
Papa y chícharo	6.7 %
cebada	3.3 %

Esta comunidad ha subsanado su mal remunerada agricultura papera con la cría de borrego, la cual ha sido beneficiada con créditos gubernamentales. El comisario ejidal calcula que en la comunidad existen 5,000 cabezas de borregos. Se tiene un convenio con el municipio de Guadalupe Victoria para arrendar parte de sus bosques (6,000 ha) a los pastores de La Jícara, los cuales pagan en especie por el uso de los bosques, dependiendo este pago del número de borregos que tengan.

El 21% de la población tiene terminada la primaria, la población restante no asistió o no acabó ni la mitad de la primaria.

### ***Ejido Puerto Nacional***

El ejido de Puerto Nacional se fundó en 1943, con aproximadamente 75 ejidatarios, que cuentan con parcelas de entre 3 y 6 ha, aunque algunos llegan a tener hasta 20 ha. La mayoría de los ejidatarios es dueño de las tierras que trabaja (76.5%), el resto produce en tierra prestada o rentada. Al igual que los anteriores ejidos el principal uso del suelo es la agricultura, distribuyéndose los cultivos como se muestra en la Tabla 14.

**Tabla 14.** Cultivos en el ejido Puerto Nacional, Municipio de Tlachichuca, Puebla.

Cultivo	Familias que lo cultivan
Papa	37.5 %
Haba	31.3 %
Maíz	18.8 %
Avena	9.4 %
Chícharo y papa	3.1 %

También se crían animales, principalmente aves de corral, borregos, cerdos y en menor proporción animales de carga.

Con relación al grado de alfabetización, el 41% de los pobladores asistió a la primaria, el resto es analfabeta.

### **Ejido Miguel Hidalgo y Costilla**

El ejido de Miguel Hidalgo se fundó hace poco más de 55 años con 68 ejidatarios, de los que solo quedan 25, ya que los demás han emigrado hacia las ciudades de Puebla y D.F. principalmente. La dotación original fue de entre 5 a 6 ha por parcela, aunque actualmente hay ejidatarios que llegan a triplicar esta cifra.

El principal uso del suelo es la agricultura; la mayoría de los ejidatarios contó con créditos de apoyo del gobierno (procampo). La distribución de sus principales cultivos se reporta en la Tabla 15.

**Tabla 15.** Cultivos en el ejido Miguel Hidalgo, Municipio de Tlachichuca, Puebla.

Cultivo	Familias que lo cultivan
Haba (en rotación)	24.1 %
Chicharo	20.7 %
Avena	17.2 %
Papa (en rotación)	13.8 %
Maíz y haba	13.8 %
Arvejón	10.3 %

En este ejido la cría de ganado es encabezada por los borregos, (23% de la población tiene este tipo de ganado), también hay animales de carga y cerdos.

El tiempo de uso agrícola en las comunidades es en promedio de entre 28 y 34 años, aunque se encontrado pobladores que han vivido ahí más de 50 años y sus padres ya eran agricultores de la zona. Las familias son pequeñas, en promedio integradas por 3 o 4 miembros.

La ganadería extensiva de especies menores (ovinos y caprinos) es una práctica muy rentable, ya que el pastoreo libre en áreas comunales o colindantes al Parque Nacional ofrece ganancias atractivas al ganadero privado. Las comunidades que presentan mayor número de cabezas de ganado son Miguel Hidalgo y El Cajón. Jiménez (2001) analizó el deterioro de la vegetación herbácea por pastoreo, mediante la comparación de áreas ramoneadas y sin ramonear. Los resultados mostraron que la cobertura de herbáceas se redujo en un 50%, la altura se redujo en 32% y la densidad de individuos aumentó en 18%.

Los niveles educativos son relativamente homogéneos en Puerto Nacional, Miguel Hidalgo y la Jícara, en las cuales entre la cuarta y quinta parte de la población es analfabeta y por lo menos la mitad de la población sabe leer y escribir. El caso de El Cajón es distinto, casi la mitad de la población es analfabeta y sólo

una cuarta parte sabe leer. La comunidad que presenta la mayor población con estudios medios y medio superior es Miguel Hidalgo. En la Tabla 16 se resume el nivel de escolaridad por comunidad.

Tabla 16. Nivel de estudios en porcentaje para cada comunidad.

Comunidad	Sin estudios	Primaria trunca	Primaria terminada	Secundaria	Bachillerato
El Cajón	43%	26%	22%	4%	0%
La Jicara	25%	56%	19%	0%	0%
Puerto Nacional	17%	58%	25%	0%	0%
Miguel Hidalgo	17%	42%	17%	8%	8%

#### 6.4 Asociaciones vegetales y uso del suelo

De la evaluación a nivel local, se obtuvo el mapa de cobertura vegetal y uso del suelo para el municipio de Tlachichuca (Figura 10), a partir de fotografías aéreas de 1995, en las cuales se hizo una evaluación de las diversas asociaciones vegetales que cubren el municipio, así como la cuantificación de cada área. La Tabla 17 muestra los resultados. La mayor superficie ocupada por vegetación nativa corresponde al bosque de pino, con 24% de la superficie del municipio, seguido por el bosque mixto con 13%; el bosque de oyamel sólo tiene una superficie de 3% del total. Este análisis de fotointerpretación fue verificado en campo para cada tipo de cobertura

Tabla 17. Superficie ocupada por clase de uso del suelo en Tlachichuca, Puebla (1995).

Tipo de suelo	Superficie en ha	Porcentaje
Agricultura	20,833.0	51.5
Bosque de Pino	9,578.1	23.9
Bosque Mixto	5,222.8	12.9
Pastizal alpino	1,657.8	4.1
Bosque de Oyamel	1,257.2	3.1
Matorral rosetófilo	1,069.9	2.6
Poblados	567.1	1.4
Nieve	254.1	0.6
Total	40,440.5	100

- Bosque de Pino

Es la comunidad vegetal característica de las zonas templadas; las principales especies arbóreas encontradas entre los 3,400 y 3,700 msnm fueron *Pinus hartwegii*, *P. rudis*, *Abies religiosa* y *Alnus jorullensis*.

A menor altitud (3,000-3400 msnm) se encontraron *Pinus montezumae* (la especie arbórea con más amplia distribución en la zona de estudio), *Alnus jorullensis*, *Pinus pseudostrobus*, *P. oaxacana* y *Abies religiosa*.

- Bosque Mixto.

Se localiza en altitudes entre los 2600 y los 3000 msnm, y entre las principales especies arbóreas se encuentran: *Pinus teocote*, *P. oaxacana*, *P. pseudostrobus*, *P. rudis*, *P. montezumae*, *P. hartwegii*, *P. douglasiana*, *P. herrerae*, *Juniperus deppeana*, *Arbutus* sp., *Nolina parviflora*, *Yucca periculosa*, *Quercus rugosa*, *Q. laeta*, *Q. repanda* y *Q. crassipes*. De todas las asociaciones vegetales evaluadas, es el bosque mixto donde se observa una mayor riqueza de especies de árboles (aproximadamente 15 especies).

- Bosque de Oyamel

Se distribuye sólo en pequeños relictos, ya que no existen corredores que conecten los distintos parches remanentes que se encuentran rodeados por áreas agrícolas. En las visitas de campo se pudo corroborar que esta comunidad vegetal se desarrolla principalmente en cañadas húmedas con pendientes fuertes y está dominada por *Abies religiosa*, salvo en sus límites altitudinales superior e inferior, en los cuales se asocia con *Pinus hartwegii* y con *P. montezumae*, respectivamente.

- Pastizal Alpino o Zacatonal

Se localiza a partir de los 3500 msnm, la vegetación está predominada por gramíneas amacolladas como *Mulhenbergia macroura*, *Fetisca toluensis* y *Calamagrostis eriantha*, entre otras.

- Matorral Rosetófilo

Esta vegetación se distribuye a manera de manchones sobre lomeríos que reciben menor humedad, por lo que se desarrolla una vegetación semidesértica que se caracteriza por especies que presentan hojas en forma de roseta y carnosas, como los magueyes (*Agave spp.*) y *Yuca spp.* entre otras especies en menor proporción.

- Cultivos.

La mayor parte se encuentra en las llanuras y compite con los bosques en las áreas menos abruptas, ubicándose hasta los 3400 msnm. Los principales cultivos son maíz, (*Zea mays* L.), haba, (*Vicia faba* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.), arvejón, chícharo (*Pisum sativum* L.), cebada (*Hordeum vulgare* L.), frijol, (*Phaseolus vulgaris* L.), avena (*Avena sativa* L.), y papa (*Solanum tuberosum* L.).

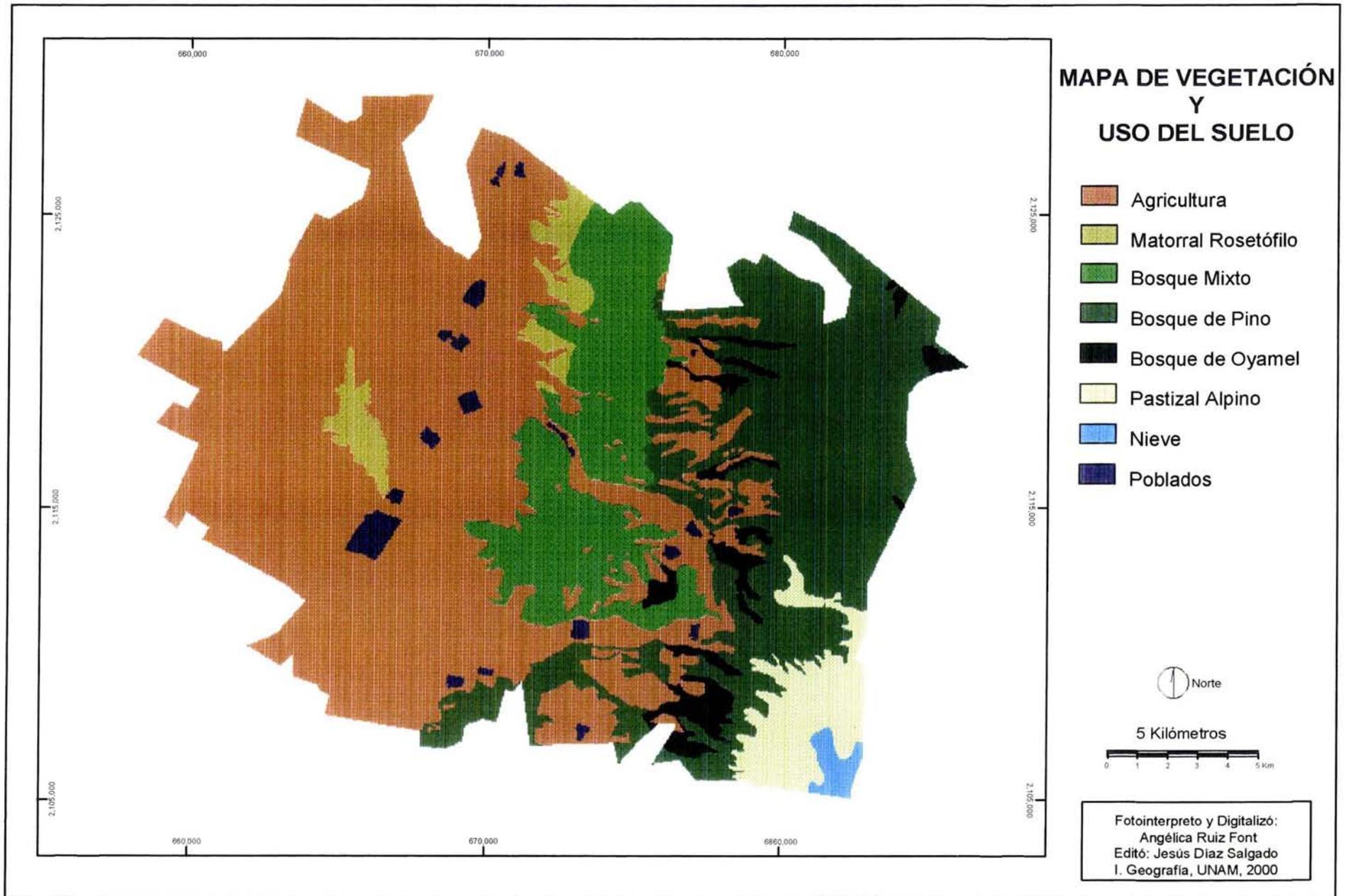


Figura 10. Cobertura vegetal y uso del suelo a partir de fotos aéreas 1995 de Tlachichuca, Puebla. Pico de Orizaba, México.

## 6.5. Distribución agroecológica

Con base en los datos de vegetación y de uso del suelo se hizo una zonificación agroecológica altitudinal en la que se reconocen tres zonas. La Figura 11 esquematiza esta regionalización, la primera es la zona de maíz, frijol y haba que se encuentra entre los 2600 a 3000 m, la segunda que es la zona de papa y haba principalmente que se ubica entre los 3000-3500 m, y la tercera es la zona de pastoreo que está por encima de los 3500 m.

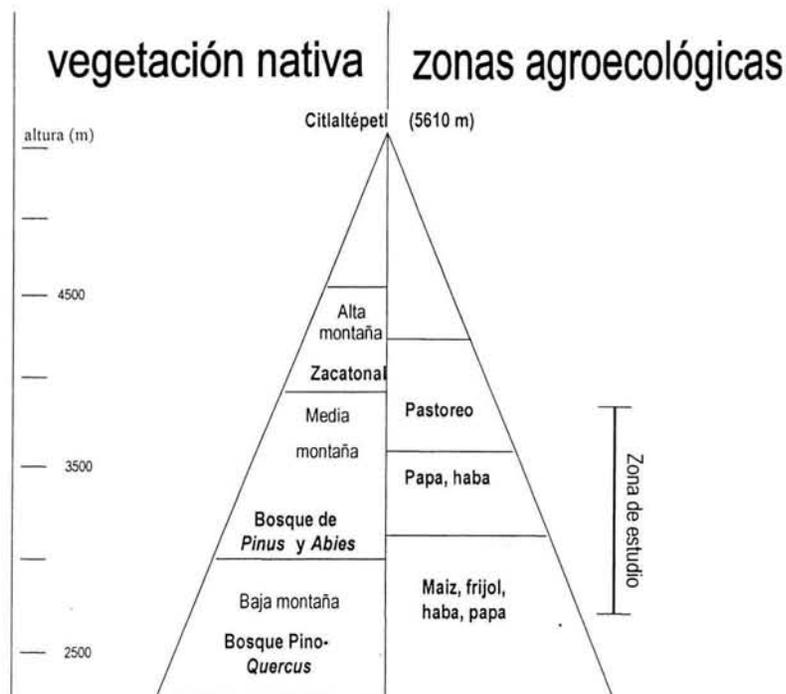
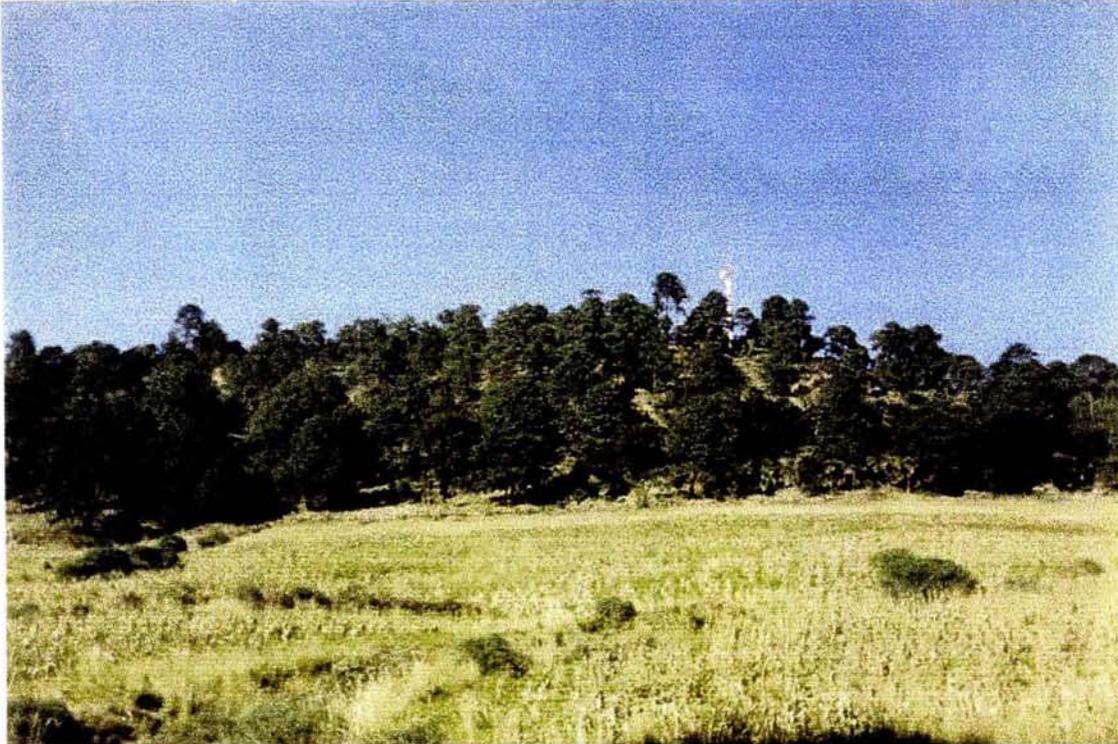


Figura 11. División esquemática mostrando la distribución altitudinal de la vegetación natural y de las zonas agrícolas y pecuarias en el Citlaltépetl, Puebla, México

### 1) Zona de Montaña Baja

La zona de baja montaña es la de agricultura intensiva, ya que el relieve permite el uso de maquinaria como el tractor. Los cultivos tradicionales, como maíz, frijol y calabaza, son los más comunes; éstos son fertilizados con urea y cosechados una vez al año (Figura 12). Las prácticas de cultivo de maíz se inician en octubre con el barbecho del terreno, entre los meses de enero-febrero se surca para sembrar el cereal que puede ir intercalado con haba. Entre marzo y abril se deshierba y se amontona la tierra. En estas zonas, aún quedan pequeños manchones de vegetación natural en zonas no aptas para la agricultura, o áreas comunes de alguna comunidad que se dejan como práctica de cuidado del bosque. La mayor parte de la vegetación

nativa remanente consiste de especies de *Quercus laeta*, *Juniperus deppeana* y diversas especies de coníferas, como *Pinus montezumae* y *P. teocote*, entre otras.



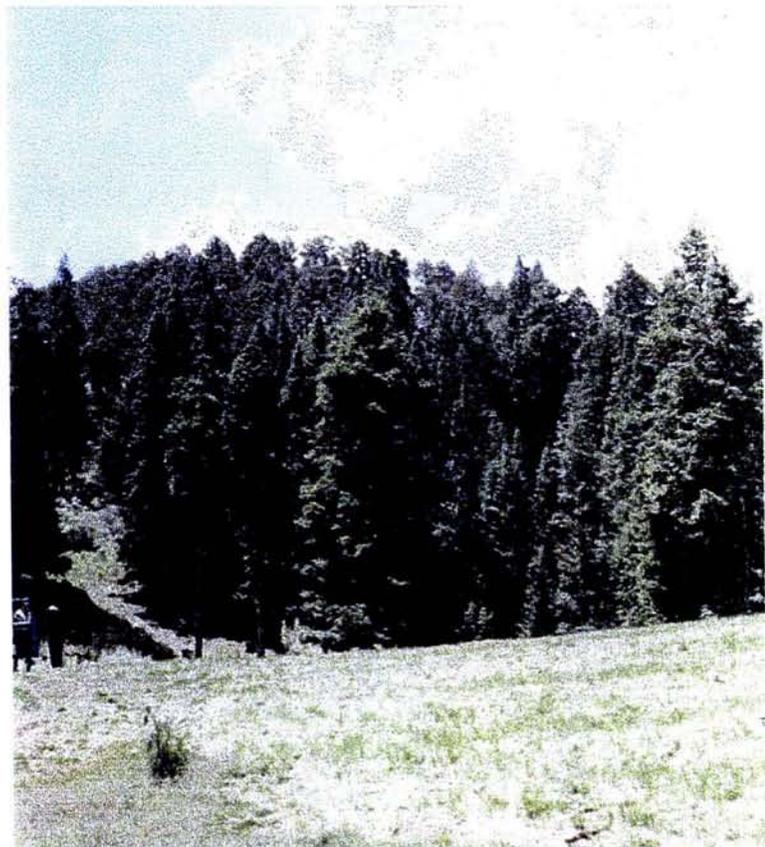
**Figura 12.** Cultivos de maíz y el bosque mixto en Comunidad Paso Nacional, Tlachichuca, Puebla, faldas Volcán Citlaltépetl. México.

## 2) Zona media montaña

La zona de media montaña (3000-3500 m) es donde se desarrolla la actividad agrícola más importante con el cultivo de la papa (Figura 13), con una cosecha o algunas veces dos cosechas por año. Debido a la accidentada topografía las labores agrícolas sólo se efectúan con tracción animal, pala recta o azadón.

Las prácticas se inician en noviembre-diciembre con el barbecho, se surca y se siembra en enero, las labores de deshierbe y de cuidado se realizan en febrero, abril y junio. Durante el barbecho algunas veces se incorpora fertilizante ya sea natural, como estiércol de chivo y rastrojos, o comercial (sulfato-urea en proporción 2:1). Las parcelas se someten a una rotación simple, es decir se deja un periodo corto de barbecho y se sigue con la siembra de avena o haba. Sobre este punto los pobladores piensan que la rotación con haba (Figura 14) hace que la tierra vaya "absorbiendo organismos o nutrientes" de diferentes cultivos y que esto enriquece el suelo. En esta zona es común la pérdida parcial o total de la cosecha por heladas, generalmente en las parcelas ubicadas cerca del límite altitudinal de los cultivos o en posición topográfica abierta a las bajas

temperaturas. Este tipo de riesgos se aminoran cuando parte de la producción se hace en zonas más bajas como en el caso de la Comunidad El Cajón, cuyos habitantes generalmente tienen parcelas en zonas bajas y de alta montaña.



**Figura 13 y 14.** Cultivo de papa y haba en lo que fue bosque de pino -arriba-. Cultivo de haba donde hubo bosque de oyamel. Comunidad Miguel Hidalgo, Tlachichuca, Puebla. Pico de Orizaba. México

Los principales problemas ambientales que se presentan son el uso excesivo de pesticidas en el cultivo de papa, ya que en los últimos años se ha hecho recalcitrante la plaga del nemátodo dorado (*Meloidogyne sp.*). Por otro lado la topografía con fuertes pendientes hace que las áreas abiertas al cultivo se abandonen al poco tiempo debido a la inestabilidad del suelo. Para prevenir la erosión en algunos ejidos se dejan algunos árboles de *Pinus pseudostrobus*, *P. montezumae* o *Abies religiosa* cercanos a las áreas agrícolas.

### 3) Zona pastoril (alta montaña)

La ganadería extensiva que se desarrolla en el Citlaltépetl comienza por encima de la franja agrícola; el ganado padece libremente en cualquier tipo de vegetación y sólo de manera restringida en parcelas de cultivo. Casi todas las familias se dedican en pequeña o mediana escala a la crianza de ganado ovino, caprino, vacuno y equino. Sólo en la comunidad de La Jícara se crían más de 5, 000 cabezas de ganado, las cuales pastan en zonas comunales o colindantes con el Parque Nacional.

En temporada seca son comunes las quemadas "controladas" para promover el rebrote de las gramíneas, las cuales originan grandes e incontrolables incendios, como los que se desarrollaron en abril de 1998; por los cuales el Pico de Orizaba fue decretado como área protegida del programa de restauración ecológica por incendios (Gobierno estado de Puebla, 1999).

Por otra parte debido al pastoreo la vegetación nativa de esta zona (bosques de *Abies* y de *Pinus hartwegii*) se ve amenazada por el ramoneo constante de los briznales. En esta zona la cobertura de gramíneas (*Mulhenbergia macroura*, *Fetusca tolucensis* y *Calamagrostis eriantha*) puede llegar a disminuir hasta en un 70% por causa de la actividad ganadera (Jiménez, 2001)

#### 6.5.1. Discusión

El límite superior de la agricultura está entre los 3400 y 3600 m, cota que coincide aproximadamente con el límite superior actual de los macizos boscosos.

A pesar de que las comunidades montañas de Tlachichuca se localizan cercanas a centros agrícolas de gran importancia estatal, varios factores han contribuido a que permanezcan en una situación marginal. Por un lado se encuentran ubicadas a mayor altitud y las características ambientales de los ecosistemas montañosos imponen ciertas limitaciones al desarrollo de la agricultura, debido a que son áreas con vocación forestal, por ejemplo, que sólo se cosecha una vez por año, en contraste con las dos cosechas que pueden realizarse en el altiplano con mecanización y riego.

La dinámica agrícola tiene un impacto muy particular en el paisaje, ya que determina que coexistan parcelas cultivadas con gramíneas (maíz, avena), papa o parcelas abandonadas que se encuentran en diferentes estados de regeneración del bosque. El resultado es la configuración de un paisaje en mosaico formado por pequeñas parcelas que tienen un notable interés ecológico ya que por su dinámica tienden a mantener una alta diversidad natural en la zona, a la vez que permite una regulación de la explotación a que es sometido el medio natural. En la base de este manejo, está la conservación de la fertilidad de los suelos a largo plazo, que posibilita la obtención de una producción agrícola con el empleo de poco fertilizante.

Un estudio llevado a cabo por Velázquez y Cleef (1993) en el Eje Neovolcanico Transversal en México, específicamente en los volcanes Pelado y Tláloc, reporta el cultivo de cactus (*Opuntia streptacantha*) entre los 2600 2800 m, un siguiente nivel de maíz entre 2700 y 2950 m y avena entre los 2800 y 3100 m. La vegetación en estos volcanes se caracteriza por bosques dominados por *Pinus hartwegii* y oyamel y en menor cantidad por *Quercus* spp. y *Alnus firmifolia*. En otras zonas montanas de Latinoamérica se reportan cinturones altitudinales de vegetación natural que se asocian a un gradiente de uso agrícola o pecuario que presentan cierta homología a lo encontrado en el Citlaltepctl, Stadel (1986) en un estudio en la parte central de los andes encuentra que entre 2950 y 3300 están los cultivos de papa y entre los 3300 y 3600 m se lleva a cabo la explotación de madera. Kappelle y Juárez (1995) estudiaron la distribución agroecológica en la reserva forestal Los Santos en Costa Rica y localizaron un nivel ocupado por los cultivos de papa (de 2300 a 2600 m) y una zona de mayor altura (2700 y 3000 m) que desarrolla la explotación de carbón. La vegetación característica de Los Santos son bosques de *Quercus* spp. en el dosel y bambú (*Chusquea* spp.) en el estrato herbáceo. La región andina del Departamento de Cajamarca tiene un uso de la tierra en las partes bajas (3200 m) con maíz, por encima de este cultivo y hasta los 3600m se cultiva papa y cebada y en zonas altas pasturas para ganado vacuno y ovino (De la Cruz, 1999).

De estos ejemplos se puede concluir que la distribución agroecológica en el Volcán Citlaltepctl tiene semejanza en cuanto al uso de la tierra a lo largo de un gradiente altitudinal con cinturones en las zonas montanas del centro y Sudamérica, en resumen se pueden limitar tres zonas agroecológicas: la ladera baja donde se cultiva el maíz, la zona de ladera alta con papas y cereales de altura, y la zona de pastos. Esto puede ser explicado por la similitud en las características climáticas tales como el régimen de humedad, temperatura y los periodos de sequía.

## 6.6. Evaluación Edáfica

La Tabla 18 muestra los sitios de vegetación natural en los que se hizo el muestreo edáfico, que tiene un rango altitudinal de los 3000 a 3500 m aproximadamente.

**Tabla 18.** Ubicación de sitios de muestreo de suelos con vegetación natural

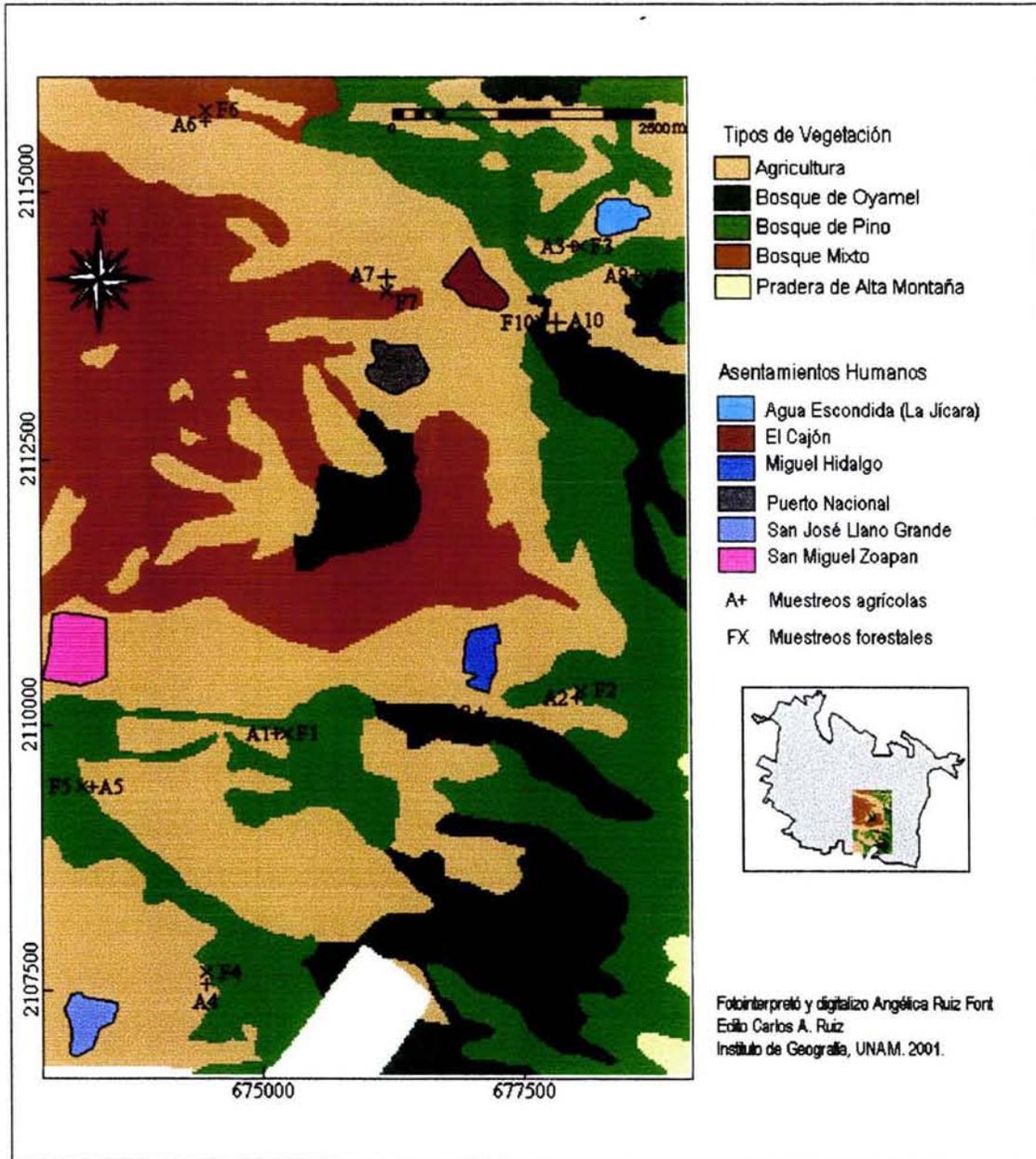
Sitio	Altitud	Vegetación	Ejido	UTM X	UTM Y
1	3145	Bosque de Pino	Zoapan	675359	2109925
2	3460	Bosque de Pino	Hidalgo	678045	2110321
3	3220	Bosque de Pino	La Jícara	678000	2114500
4	3100	Bosque de Pino	Zoapan	673700	2107650
5	3030	Bosque Mixto	Zoapan	672996	2109380
6	3100	Bosque Mixto	Paso Nacional	674500	2115400
7	3000	Bosque Mixto	Paso Nacional	676246	2115007
8	3350	Bosque de Oyamel	Miguel Hidalgo	677100	2110000
9	3290	Bosque de Oyamel	La Jícara	678700	2114200
10	3250	Bosque de Oyamel	El Cajón	677700	2113800

La sistematización de los resultados se hizo en función de los objetivos, es decir con el fin de establecer comparaciones entre suelos de acuerdo al tipo de uso (agrícola y forestal) y al tipo de bosque (bosque de pino, bosque de oyamel y bosque mixto). Se establecieron seis clases de muestras edáficas, que se señalan en la Tabla 19.

**Tabla 19.** Unidades de uso analizadas en este trabajo y su abreviatura

Unidad de uso de suelo	Clave	No. de sitios
1. Suelos forestales del bosque de pino	Pf	4
2. Suelos con cambio de uso de forestal (pino) a agrícola	Pa	4
3. Suelos forestales de bosque mixto	Mf	3
4. Suelos con cambio de uso de forestal (mixto) a agrícola	Ma	3
5. Suelos forestales del bosque de oyamel	Of	3
6. Suelos con cambio de uso forestal (oyamel) a agrícola	Oa	3

En todos los sitios el material parental fue ceniza y arenas volcánicas; los lugares de muestreo están marcados en la Figura 15.



**Figura 15.** Sitios de muestreo edáfico, forestal (F) y agrícola (A) en la zona nor-occidental del Pico de Orizaba. Municipio de Tlachichuca, Puebla. México.

**Características analíticas del horizonte A de los suelos del Pico de Orizaba**

- **Propiedades físicas**

**Densidad Aparente**

Se presentó mayor densidad aparente en los suelos agrícolas que en los suelos forestales de las muestras analizadas (Gráfica 1 del Anexo 4). El promedio para suelos con cultivos fue de 1.14 gr/cm<sup>3</sup> y para suelos con vegetación boscosa de 1.04 gr/cm<sup>3</sup> (H= 2.65, N= 20, p=0.103). En los suelos forestales del bosque

de pino y bosque mixto existe una diferencia significativa ( $U = 0$ ,  $p = 0.013$ ) disminuyendo en el orden que sigue:

suelos bosque mixto > suelos bosque de oyamel > suelos bosque de pino.

La mayor diferencia debido a la transformación de suelo forestal a suelo agrícola se reportó en el bosque de pino, los suelos Pf presentaron una densidad aparente promedio de  $0.95 \text{ gr/cm}^3$  y los suelos Pa<sup>5</sup> de  $1.09 \text{ gr/cm}^3$ , ( $U = 2$ ,  $p = 0.08$ ), aunque la diferencia no tiene el nivel de significancia del 5%.

La densidad aparente es un criterio importante para la evaluación del balance hídrico y de nutrimento del suelo y es determinante para la permeabilidad y profundidad fisiológica o actividad de la rizosfera. Esta característica es la medida de peso seco por unidad de volumen ( $\text{gr/ml}$ ), difiere de la densidad real en el sentido de que incluye al espacio poroso. Se ha encontrado que esta variable es determinante para el crecimiento y regeneración de los bosques y que los suelos que presentan una baja densidad en los horizontes A y B usualmente tienen árboles más altos que los sitios con densidad alta. Otros estudios han mostrado que el límite de densidad para la germinación óptima de semillas de aproximadamente  $1.32 \text{ gr/cm}^3$ . (Beinroth *et al.* 1985). Esto indica que los suelos forestales transformados a agricultura mantienen una densidad sana adecuada.

El tamaño de las partículas es un factor determinante para la densidad aparente, ya que los suelos con partículas finas poseen densidades más bajas. Para los suelos analizados los datos muestran que los sitios Ma<sup>6</sup> presentan un mayor porcentaje de arena (partículas gruesas), y también una mayor densidad aparente. Los datos en conjunto presentan una correlación alta entre la densidad aparente y el porcentaje de arena ( $r=0.71$ ,  $p = 0.05$ ).

Por otra parte la diferencia entre suelos agrícolas y forestales también se explica por las actividades de laboreo, las cuales incrementan la densidad aparente, ya que la inversión de las capas superficiales provoca una mayor aireación y por lo tanto una mayor actividad microbiana que oxida la materia orgánica (Pritchett, 1986).

#### **Densidad real**

La densidad real aumentó ligeramente en los suelos al cambiar de uso de forestal a agrícola; con un promedio  $2.29 \text{ gr/cm}^3$  para suelos forestales y de  $2.36 \text{ gr/cm}^3$  en suelos agrícolas (Anexo 4-Gráfica 2), siendo más evidente esta diferencia en la transformación del suelo del bosque de oyamel.

La única diferencia significativa se registró entre los suelos agrícolas originalmente ocupados por pino y oyamel ( $U = 0.05$ ,  $p = 0.05$ ), ya que los segundos mostraron un ligero aumento frente a los agrícolas donde hubo pinos, 2.43 y 2.27 respectivamente. Esto indica que los suelos del oyametal tienen mayor cantidad de materiales que le dan porosidad como la materia orgánica.

<sup>5</sup> Pa = suelo que sufrió un cambio de uso de bosque de pino a agrícola hace poco más de treinta años

La densidad real o densidad de los sólidos o peso específico, es el peso de los sólidos del suelo comparado con el de un volumen igual de agua. El peso específico es afectado por dos factores: el contenido mineralógico y el contenido de materia orgánica, donde a mayor contenido de minerales más alto es el valor del peso específico. Además a medida que el contenido de materia orgánica aumenta en un suelo, la densidad real tiende a disminuir.

Los datos analizados en conjunto en este trabajo presentaron una ligera correlación negativa entre la densidad real y el porcentaje de materia orgánica ( $r = -0.63$ ,  $p = 0.05$ ).

#### Porcentaje de arena, limo y arcilla

En los sitios analizados en este trabajo el porcentaje de arena fue mayor en los suelos agrícolas que en los suelos forestales, con 65% y 59% en promedio respectivamente, pero la diferencia fue marginalmente significativa ( $H = 0.79$ ,  $p = 0.06$ ). Las concentraciones de limo registraron una diferencia significativa ( $H = 4.85$ ,  $p = 0.03$ ) siendo mayor en los suelos forestales con 31.3% que en los suelos agrícolas con 26% (Figura 15). Específicamente la mayor diferencia entre suelos agrícolas y forestales se encontró entre los suelos de zonas de oyamel Of y Oa ( $U = 0$ ,  $p=0.04$ ) que disminuyó en 22%. Una marginal diferencia entre los suelos de bosque de pino y sus transformados a agricultura ( $U = 2$ ,  $p = 0.08$ ) que disminuyó en 16%.

El promedio en el porcentaje de arcillas en suelos forestales fue 9.2% y 8.4 para sitios con agricultura. En la Figura 16 se resumen los porcentajes de arena, limo y arcilla para las diferentes unidades de uso.

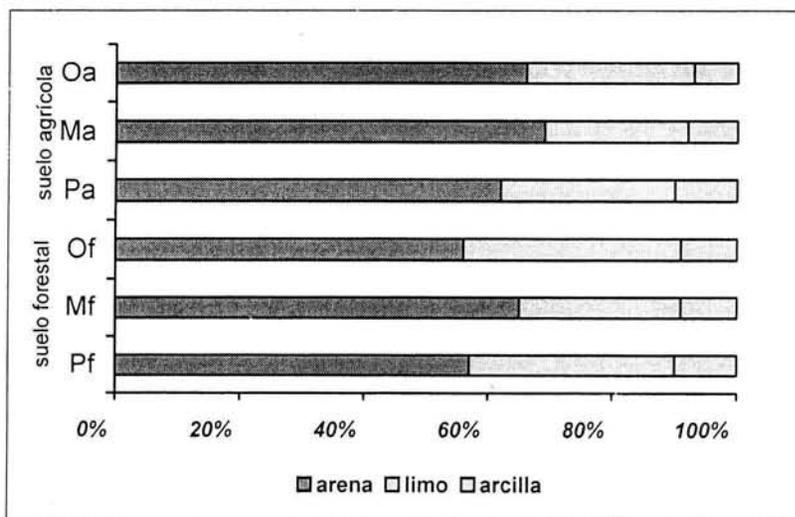


Figura 16. Porcentaje de arena, limo y arcilla en las diferentes unidades de uso.

<sup>6</sup> Ma = suelo que sufrió un cambio de uso de bosque mixto a agrícola hace poco más de treinta años.

El suelo puede dividirse en tres fases: sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida constituye el 50% del volumen de la mayor parte de los suelos superficiales y consta de una mezcla de partículas orgánicas e inorgánicas cuyo tamaño y forma varía considerablemente. Las arenas tienen un diámetro de 0.05-2.0mm, el limo de 0.002-0.05mm de diámetro y la arcilla menor que 0.002mm.

### **Porosidad**

La porosidad es resultado de la textura, la estructura y la actividad del suelo. Cuantos más gruesos son los elementos de la textura, mayores son los vacíos entre ellos. La materia orgánica contribuye a aumentar sensiblemente la porosidad, es decir, son los suelos ricos en elementos coloidales los que tienen mayor porosidad.

En las muestras del Pico de Orizaba, la media en la porosidad de suelos forestales fue de 54.3% y de los suelos agrícolas fue de 51.8%, no encontrándose diferencia significativa en esta característica ( $H = 2.28, p = 0.13$ ). La mayor diferencia entre suelos forestales y agrícolas se encontró en los suelos asociados a bosque de pino (Anexo 4-Gráfica 3); forestal de 57% y agrícola de 52%, aunque tampoco fue significativa ( $U = 3, p = 0.15$ ).

Los huecos que las partículas simples y compuestas dejan libres al aglomerarse para formar los agregados se denominan poros o espacios porosos y están ocupados por aire y agua en proporciones que varían de modo continuo. Cuando dichos espacios se encuentran llenos de agua se dice que el suelo está en máxima saturación.

Los suelos agrícolas que tuvieron bosque mixto Ma, por presentar la mayor concentración de arena debieran presentar la mayor porosidad, sin embargo otro factor determinante es la materia orgánica (los suelos ricos en coloides presentan mayor porosidad) y los suelos de bosque mixto presentaron una baja concentración de materia orgánica (0.9%), lo que podría explicar la baja porosidad. Para este caso el coeficiente de correlación fue muy significativo, ( $r = 0.72, p = 0.05$ ) (Anexo 4 - Gráfica 4).

Un dato interesante se encontró en la diferencia existente entre los suelos forestales de bosque mixto, Mf, el cual presentó muy baja porosidad con respecto a los suelos forestales de Pino ( $U = 1, p = 0.07$ ) y con los suelos de oyamel Of ( $U = 0, p = 0.05$ ). Atribuido lo anterior al tipo de suelo en el que se asienta el bosque mixto los cuales son someros, duros y donde la cantidad de litter es menor.

- **Propiedades Químicas**

#### **pH**

La media que se obtuvo al analizar pH (suelo - agua 1:2), fue ligeramente más ácido el suelo agrícola con pH de 5.5 contra el forestal 5.7, aunque la diferencia no fue significativa ( $H = 0.3219, p = 0.77$ ).

En general los suelos que presentan menor acidez son los Of y Oa (oyamel) (Anexo 4-Gráfica 5); lo cual está relacionado con la concentración de cationes, como el calcio y el sodio, los cuales se presentan en niveles altos en los suelos de oyamel, lo que le da este carácter.

La mayor acidez se asocia a los suelos de bosque de pino y su derivado agrícola. Se reportaron diferencias significativas entre los suelos forestales de pino y oyamel ( $U = 0$ ,  $p = 0.03$ ) y entre los suelos forestales Pino y Mixto ( $U = 0$ ,  $p = 0.029$ ). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Valera-Pérez (1993) que indica que la acidificación de los suelos de coníferas radica en la disminución de las tasas de descomposición y mineralización debido a la calidad nutritiva de la hojarasca de coníferas, lo que en general los hace más ácidos que los bosques de latifoliadas.

Los resultados obtenidos del análisis de pH KCl (Anexo 4-Gráfica 6) presentan la misma tendencia, el suelo con mayor acidez es el suelo forestal de pino 4.7 y el más básico el suelo forestal de oyamel. La acidez del suelo medida en la solución de suelo-agua, cuantifica la acidez activa, pero también existe una reserva de acidez intercambiable (o potencial) que se mide con una solución salina de cloruro de potasio.

El pH de los suelos forestales normalmente varía en un intervalo que va desde muy ácido (pH 4), a levemente ácido (pH 6.5). Solo los suelos ricos en calcio (calcáreos) provocan que el mantillo forestal origine suelos neutrales, pH 7, o ligeramente básicos pH 7.5.

En general las diferencia entre suelos forestales y agrícolas fue muy pequeña, lo que pudiera deberse a que existe una pobreza de elementos en el suelo.

#### **Capacidad de intercambio catiónico (CIC)**

La media de la capacidad de intercambio catiónico de las muestras de suelos forestales fue de 17 meq/100 g y de 13.5 meq/100 g, en los suelos agrícolas.

La CIC mayor se encontró en los suelos forestales de Pino y Oyamel con 18.6 meq/100g. La más baja en los suelos agrícolas Ma con 12.8 meq/100g. Al realizar las pruebas de comparación en los tipos de suelo, en ningún caso se encontraron diferencias significativas.

La evaluación del CIC en los suelos del Citlaltépetl nos indicó la capacidad de los suelos para retener los iones nutritivos en una forma disponible para el uso de las plantas, esto es de especial importancia para los bosques que crecen sobre arenas y en otros suelos con reservas de nutrientes excesivamente bajas.

Este intercambio iónico es un proceso reversible mediante el cual tanto los cationes como los aniones se intercambian entre las fases del líquido y del suelo. El intercambio catiónico es de mayor importancia que el aniónico debido a que la mayor parte de los minerales esenciales son absorbidos por las plantas en forma de cationes. En promedio se reporta que la CIC en los suelos forestales es de 15 meq/100g (Okalebo *et al.*, 1999), quedando los datos del Pico de Orizaba alrededor del promedio.

### Bases intercambiables

En cuanto a lo relacionado a las bases intercambiables (calcio, magnesio, sodio y potasio), todas disminuyeron en los suelos agrícolas. El calcio (Figura 17) mostró en promedio una disminución del 25% y esta diferencia se agudizó en los suelos forestales de oyamel que cambiaron a uso agrícola; donde la pérdida en suelos cultivados fue de 47%, presentando diferencias significativas ( $U = 0$ ,  $p = 0.05$ ).

Este elemento lo consumen los árboles en cantidades relativamente grandes y normalmente hay disposición suficiente en los suelos para el buen desarrollo de éstos. El calcio participa en el desarrollo de los tejidos meristemáticos, en el desarrollo de la raíz y en la formación de las proteínas. Se presenta en los suelos sobre todo en forma inorgánica y en el suelo superficial puede haber de 50 a 1000 ppm o más, en forma intercambiable. El general en los suelos forestales del Citlaltepelt es de 3 meq/100g y los suelos agrícolas 2.3 meq/100g, sin diferencias significativas entre ellos ( $H = 2.76$ ,  $p = 0.09$ ).

Otro elemento importante es el **magnesio**, ya que es el único constituyente mineral de la molécula de clorofila.

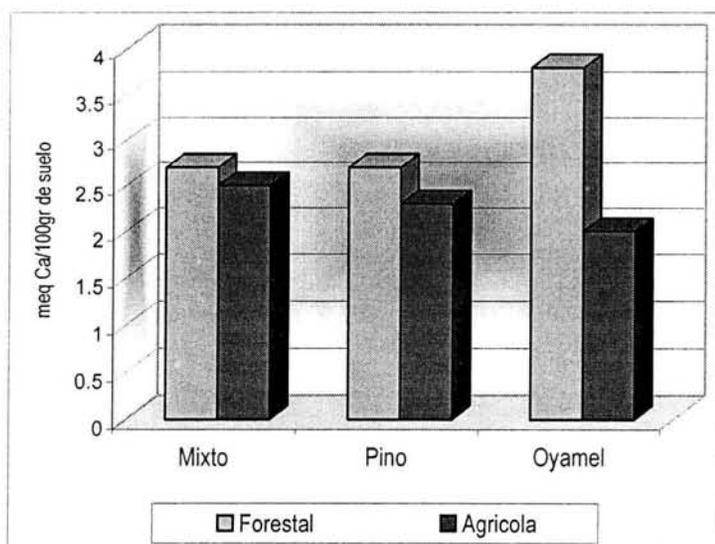


Figura 17. Concentración de calcio (meq/100g de suelo) en los suelos con cobertura forestal y en suelos con uso agrícola. Tlachichuca, Puebla. México

En promedio el magnesio de los suelos forestales es de 0.45 meq /100g y en los suelos agrícolas fue de 0.34 meq/100g, sin presentar diferencias significativas entre ellos. ( $H = 0.91$ ,  $p = 0.76$ ) (Anexo 4-Gráfica 8). La mayor concentración se localizó en los suelos forestales de oyamel con 0.7meq/100g y la concentración más baja en el suelo agrícola procedente de bosque mixto con 0.2 meq/100g. Se presume que éste decremento en los suelos agrícolas donde hubo bosque de pino-encino, se debe a que son los suelos

que han presentado mayor impacto agrícolas, por más tiempo, ya que son áreas con poca pendiente y fácil acceso a la agricultura.

El **potasio** se encuentra de manera abundante en los suelos forestales. No forma parte importante de la estructura celular de las plantas, actúa más bien como catalizador en funciones fisiológicas, como el metabolismo de carbohidratos, síntesis de proteínas, activación de enzimas, etc. En los suelos forestales se pueden encontrar concentraciones de entre 20 y 200 ppm de potasio. Este elemento tiene ciclos rápidos y eficientes en los campos forestales y es muy poca la cantidad que se lixivia en los bosques no perturbados.

En este estudio las muestras forestales tuvieron una concentración promedio de potasio de 0.75 meq/100g y la concentración promedio agrícola fue de 0.7 meq/100g, sin diferencia significativa ( $H = 0.001$ ,  $p=1$ ). La mayor concentración se detectó en los suelos forestales mixtos Mf (Anexo 4, Gráfica 9) con 1.07 meq/100g y la menor en los de pino Pf con 0.46 meq/100g.

En este estudio el promedio de la concentración de **sodio** en los suelos forestales fue de 0.23 meq/100g (Tabla 20) y de los suelos agrícolas fue de 0.2 meq/100gr; al compararlos no hubo diferencia significativa ( $H=0.206$ ,  $N=20$ ,  $p=0.29$ ).

Se calculó el porcentaje de saturación de bases (Tabla 20), que en general no muestran diferencias significativas.

**Tabla 20.** Resumen de cationes intercambiables, capacidad de intercambio catiónico y porcentaje de saturación de bases.

	Forestal			Agrícola		
	Mf	Pf	Of	Ma	Pa	Oa
Calcio (meq / 100gr)	2.66	2.70	3.76	2.50	2.31	2.03
Magnesio (meq / 100gr)	0.32	0.34	0.69	0.21	0.28	0.55
Potasio (meq / 100gr)	1.07	0.46	0.72	0.77	0.72	0.63
Sodio (meq / 100gr)	0.19	0.19	0.30	0.11	0.23	0.25
Suma cationes intercambiables	4,24	3,69	5,47	3,59	3,54	3,46
CIC	14,03	18,64	18,61	12,83	13,74	14,05
Porcentaje de saturación de bases	0,30	0,20	0,29	0,28	0,26	0,25

### Materia Orgánica

Una de las diferencias más importantes entre los suelos forestales y agrícolas del Citlaltepeltl es la carencia en los últimos, de una capa orgánica (litter), ya que se encontró que el porcentaje de materia orgánica disminuyó en un 45% en los suelos cultivados. Los suelos forestales tuvieron un promedio de 2.24% y los suelos agrícolas un promedio de 1.23%, siendo esta diferencia significativa ( $H= 4.98$ ,  $N=20$ ,  $p=0.026$ ).

La disminución de materia orgánica en los suelos asociados a vegetación de oyamel es muy marcado, con una pérdida de poco más del 60%, donde Of (Figura 18) tiene un porcentaje de materia orgánica

de 2.31% y Oa de 0.9%, una diferencia significativa ( $U = 0, p = 0.05$ ). La disminución de materia orgánica en los sitios de oyamel podría deberse a que los sitios de bosque de oyamel se ubican en laderas con una pendiente mayor de  $25^\circ$ , y al estar desprovistos de una cubierta vegetal permanente pierden fácilmente sus nutrientes.

Para los sitios de bosque de pino, la materia orgánica en suelos forestales fue de 3.1% y su derivado agrícola con 1.8%, aunque marginalmente significativa ( $U = 2, p = 0.08$ ) muestra una tendencia a la pérdida de materia orgánica.

En los suelos forestales del bosque mixto (*Pinus y Quercus*) tuvo en promedio 1.2% y en el suelo transformado hacia agricultura de 0.94%, sin reportar diferencias significativas.

Los suelos ándicos se caracterizan por su color negro o pardo oscuro, normalmente la coloración oscura persistente se debe a los altos niveles de materia orgánica (5%) y a la formación de complejos organominerales con los alófanos, sobre todo en un ambiente de humedad (Valera-Pérez, 1993).

En cuanto al cambio de uso y tiempo de uso, Tiessen (1992), evaluó los contenidos de carbono orgánico en suelos cultivados por más de 20 años, en suelos abandonados con diferentes edades de regeneración (1, 4, 8 y 10 años) y en suelos con vegetación natural. No encontró diferencias significativas en el contenido de carbono, atribuyendo estos resultados a la continua fertilización. Este hecho también es importante tomarlo en cuenta ya que en la zona de estudio es común la fertilización de los cultivos con fertilizantes orgánicos: excremento de animales y rastrojos.

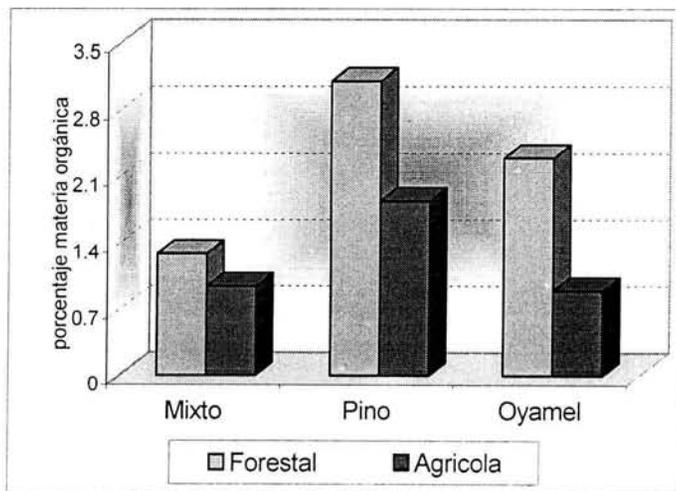


Figura 18. Porcentaje de materia orgánica en los suelos con cobertura forestal y en suelos en uso agrícola. Tlachichuca, Puebla. México

La poca diferencia en el porcentaje de materia orgánica en los sitios de bosque mixto pudiera deberse a que el suelo forestal del bosque mixto presenta el porcentaje de materia orgánica más bajo, son

zonas forestales se ubican en suelos someros, muy secos y con una cantidad de litter muy baja. Estos solo permiten muy poco desarrollo vegetal y por consecuencia no hay mucha formación de materia orgánica de origen.

La materia orgánica del suelo es un componente crítico de ecosistemas naturales y agroecosistemas, ya que juegan un papel determinante en la estructura física del suelo (Matson *et al.*, 1997), en este sentido los análisis en suelos del Citlaltepeltl muestran que los suelos agrícolas, específicamente los derivados del bosque de oyamel disminuyeron su porcentaje de materia orgánica y al correlacionarlo con la densidad aparente resulta en una relación negativa ( $r = -0.86$ ,  $p = 0.05$ , Anexo-Gráfica 11), donde estos suelos tendrán una mayor densidad aparente y menor porosidad con lo que alteran su estructura física.

En las zonas templadas se ha reportado que la pérdida de materia orgánica más rápida se da durante los primeros 25 años de cambio de uso (de forestal a agrícola), llegando a perder el 50% del carbono original (Matson, *op cit*).

### Nitrógeno

Los contenidos de nitrógeno total (amoniacoal y orgánico) fueron más altos en los suelos con vegetación natural que en los suelos con agricultura (Anexo 4-Gráfica 12). Los efectos de la transformación dieron como resultado una disminución del nitrógeno total de 28% en los suelos agrícolas (0.12%) con respecto a los forestales (0.19%), diferencia que es significativa ( $H = 4.48$ ,  $N = 20$ ,  $p = 0.049$ ).

El decremento de nitrógeno más drástico se presentó al cambiar el uso del suelo de bosque de Oyamel, que tenía un contenido promedio de 0.22% a uso agrícola con 0.1%, perdiéndose aproximadamente el 60% de nitrógeno total original y estadísticamente presenta diferencias significativas ( $U = 0$ ,  $p = 0.56$ ). En la Figura 19 se muestran los promedios graficados del porcentaje de nitrógeno en las muestras estudiadas.

En lo relativo a suelos transformados de forestal a agrícola, el mayor porcentaje de nitrógeno lo presentaron las muestras de bosque de pino con 0.26% y el porcentaje más bajo en los sitios con agricultura donde hubo bosque Mixto (0.05%), estos últimos son suelos con uso más intensivo.

El nitrógeno ocupa una posición única dentro de los nutrientes vegetales, ya que se encuentra casi en su totalidad en los suelos en forma orgánica. La fracción orgánica del suelo provee el material necesario para muchos de los procesos más importantes en el ciclo del nitrógeno. El porcentaje promedio de nitrógeno que existe en un pastizal es de 0.16%, en los bosques es de 0.25%, cultivos con fertilizante 0.12%, cultivo sin estiércol 0.10% y cultivo con estiércol cada año 0.22% (Ortega, 1978).

En cambio la transformación de los suelos forestales de pino y mixto a agricultura no presentó diferencias significativas, donde comportamientos parecidos reporta Tiessen (1992) al analizar el nitrógeno en suelos agrícolas y en suelos con vegetación nativa, reportó un decremento poco significativo en suelos recientemente cultivados. Este comportamiento se atribuye a la fertilización pero principalmente a la rotación de cultivos la cual también se realiza en la zona de estudio.

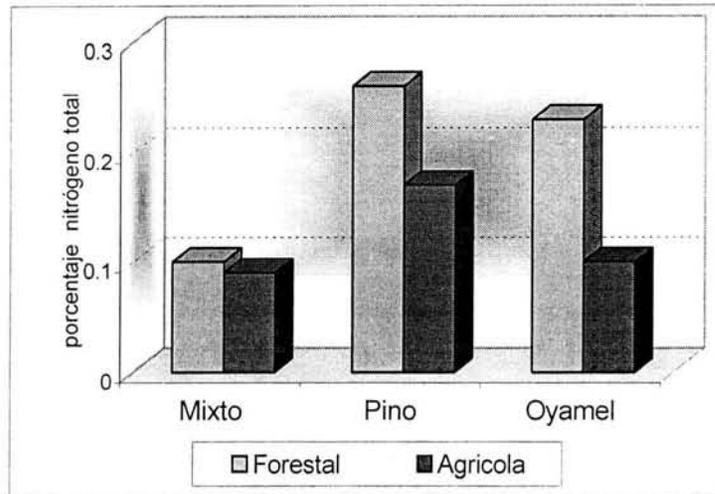


Figura 19. Porcentaje de nitrógeno en los suelos con cobertura forestal y en suelos con en uso agrícola. Tlachichuca, Puebla. México.

Para Tekaling (en Okalebo *et al.*, 1999) un valor por encima de 3% es considerado como alto, pero un valor por debajo de 1.5% es considerado como bajo (Tabla 21). Con base en este criterio todos los suelos agrícolas pueden ser considerados como suelos pobres en materia orgánica.

Tabla 21. Clasificación de los valores de porcentaje de carbono y nitrógeno (Tekaling, 1991, en Okalebo *et al.*, 1999)

	Valor	Clasificación
% C orgánico	3.0 o +	Alto
	1.5 – 3.0	Moderado
	0.5 – 1.5	Bajo
	- 0.5	Muy bajo
% N Total	0.25 o +	Alto
	0.12 – 0.25	Moderado
	0.05 – 0.12	Bajo
	- 0.05	Muy bajo

### Relación Carbono / Nitrógeno (C/N)

El promedio de la relación C/N en suelos forestales de pino fue de 12, de 13 en el bosque mixto y de 10 en el bosque de oyamel. El promedio en suelos forestales es de 12 y de 10 en suelos agrícolas (Tabla 22), sin diferencias significativas entre ellos ( $H=0.36$ ,  $N=20$ ,  $p=0.76$ ), el mayor cociente se encontró en suelos forestal mixto Oyamel, (13) y el menor en oyamel agrícola (9).

La relación C/N varía entre 9 y 14 siendo más baja en zonas áridas o de baja precipitación, que en las zonas lluviosas, y bajo la misma precipitación es más alta en climas fríos. Esta relación es mayor en suelos ácidos y más baja en suelos neutros y alcalinos (Ortega, 1978). La mineralización (procesos en los cuales el nitrógeno orgánico es convertido en formas inorgánicas) e inmovilización del nitrógeno en el suelo tiene efectos marcados en la relación C/N. Como regla general, la proporción crítica se encuentra entre 20 y 25 : 1, proporciones altas favorecen la inmovilización y las menores la mineralización. Otros autores como Bolt (en Ortiz-Hernandez *et al.*, 1993) indican una relación límite de 10:1.

Para Pritchett (1986) cuando la relación C/N es menor a 25 el nitrógeno estará disponible para las plantas casi de manera inmediata.

**Tabla 22.** Media y desviación estándar de los parámetros físicos y químicos medidos en suelos forestales y en su contraparte agrícola, en suelos del Volcán Citlaltépetl, Puebla.

Parametros			Forestal				Agrícola			
			Mf	Pf	Of	X	Ma	Pa	Oa	X
Físicos	Densidad aparente Mgm <sup>3</sup>	Media	1.16	0.95	1.02	1.04	1.19	1.09	1.14	1.14
		Desv. St.	0.09	0.10	0.07		0.10	0.10	0.11	
	Densidad real Mgm <sup>3</sup>		2.30	2.22	2.33	2.29	2.38	2.27	2.43	2.36
			0.15	0.13	0.11		0.17	0.09	0.05	
	Porosidad %		49.51	57.52	56.12	54.38	49.99	52.28	53.26	51.85
			1.80	4.35	1.85		2.56	3.67	3.42	
	Arena %		64.67	57.25	56.67	59.53	68.67	62.00	65.67	65.44
			4.16	7.89	1.15		5.03	4.32	7.77	
	Arcilla %		9.33	9.50	8.67	9.17	8.00	10.00	7.33	8.44
			1.15	4.43	1.15		0.00	1.63	2.31	
	Limo %		26.00	33.25	34.67	31.31	23.33	28.00	27.00	26.11
			5.29	3.59	1.15		5.03	3.27	5.57	
Químicos	pH-KCl		5.09	4.65	5.57	5.10	5.01	4.85	5.11	4.99
			0.23	0.15	0.46		0.30	0.19	0.23	
	pH-agua		5.73	5.26	6.08	5.69	5.67	5.37	5.70	5.58
			0.16	0.18	0.32		0.47	0.15	0.17	
	Materia orgánica %		1.30	3.10	2.31	2.24	0.94	1.84	0.91	1.23
			1.01	1.21	0.29		0.95	0.52	0.81	
	Nitrógeno %		0.10	0.26	0.22	0.19	0.90	0.17	0.10	0.39
			0.07	0.12	0.10		0.07	0.03	0.02	
	Relación C/N		13.00	12.00	10.00	12.00	10.00	11.00	9.00	10.00
			2.23	2.57	3.62		2.73	2.14	5.37	
	CIC		14.03	18.64	18.61	17.09	12.83	13.74	14.05	13.54
			3.71	3.48	2.93		3.08	3.52	5.52	
Ca		2.66	2.70	3.76	3.04	2.50	2.31	2.03	2.28	
		0.62	1.10	0.58		0.66	0.64	0.54		
Magnesio		0.32	0.34	0.69	0.45	0.21	0.28	0.55	0.34	
		0.39	0.29	0.63		0.22	0.32	0.50		
Potasio		1.07	0.46	0.72	0.75	0.77	0.72	0.63	0.71	
		0.81	0.20	0.29		0.22	0.77	0.32		
Sodio		0.19	0.19	0.30	0.23	0.11	0.23	0.25	0.20	
		0.19	0.24	0.17		0.07	0.24	0.29		

Las diferencias en los suelos muestreados debidas a sus características químicas y físicas se muestran en la Tabla 23 (sombreado en gris oscuro  $p < 0.05$ , en gris claro  $p > 0.5$  y  $< 0.8$ ). En la columna 1 se presenta la probabilidad asociada a la prueba Kruskal-Wallis analizando el total de los datos forestales contra los datos agrícolas. Las diferencias significativas se presentan en materia orgánica y la concentración de calcio. En la columna dos, tres y cuatro se presentan resultados de las pruebas Mann-Whitney. La columna dos analiza las diferencias solo entre suelos forestales, los que presentan mayor diferencia entre si son bosque de pino y los de bosque mixto. La tercera columna resalta que el cambio de suelo forestal a agrícola en los bosques mixtos no estuvo asociado a diferencias significativas en ningún parámetro. En cambio al transformar el área forestal a agrícola en los bosques de oyamel las diferencias significativas se presentan en materia orgánica, limo y calcio. Y en la cuarta columna se muestran las diferencias entre suelos agrícolas, los cuales en general son homogéneos, pues no presentan diferencias significativas, excepto entre los derivados de bosque de pino comparados con los derivados de bosque de oyamel.

**Tabla 23.** Valores de U y p para la comparación múltiple para cada par de suelo según su uso para las variables analizadas por la prueba de Mann Whitney. Pico de Orizaba, Puebla.

Variable	Comparación Suelo Forestal						Comparación suelo transformado						Comparación suelos agrícolas					
	Pino y Oyamel		Pino y Mixto		Oyamel y Mixto		Pino a Agrícola		Oyamel a Agríc		Mixto a Agríc.		Pa-Oa		Pa-Ma		Oa-Ma	
	U	p	U	p	U	p	U	p	U	p	U	p	U	p	U	p	U	p
Densidad aparente	3	0.289	0	0.034	1	0.127	2	0.083	2	0.275	4.5	1.000	4	0.480	2	0.157	3.5	0.658
Densidad real	3	0.289	4	0.480	4	0.827	5.5	0.470	2	0.275	4	0.827	0.5	0.050	3	0.289	3	0.513
Porosidad %	3	0.289	1	0.077	0	0.050	3	0.149	2	0.275	4	0.827	4	0.480	3	0.289	2	0.275
Arena %	3.5	0.368	2	0.157	0	0.046	4.5	0.312	1	0.121	2.5	0.376	3	0.289	1.5	0.108	3.5	0.658
Arcilla %	5	0.696	4	0.459	3	0.456	5	0.386	2.5	0.361	1.5	0.114	2	0.138	1.5	0.076	3	0.480
Limo %	4	0.463	2	0.157	0	0.046	2	0.083	0	0.046	3.5	0.658	5	0.721	2.5	0.195	3	0.513
PH_KCL	0	0.034	0	0.034	2	0.275	3	0.149	2	0.275	4	0.827	1	0.077	5	0.724	3	0.513
PH_AGUA	0	0.034	0	0.034	1	0.127	4	0.248	1	0.127	4	0.827	0.5	0.050	4	0.480	4	0.827
%MO	4	0.480	2	0.157	2	0.275	2	0.083	0	0.050	3	0.513	2.5	0.212	3	0.289	4	0.827
%N	3	0.289	1	0.077	0	0.050	6	0.564	0	0.050	2	0.275	0	0.032	0	0.032	3	0.513
C/N	2	0.157	3	0.289	2	0.275	3	0.149	2	0.275	2	0.275	5	0.724	1	0.077	4	0.827
CIC	5	0.724	2	0.157	1	0.127	4	0.248	2	0.275	3.5	0.658	6	1.000	5	0.724	4	0.827
Calcio	2	0.157	5	0.724	0	0.050	8	1.000	0	0.050	4	0.827	4	0.480	5	0.724	2	0.275
Magnesio	4	0.480	6	1.000	3	0.513	8	1.000	4	0.827	4	0.827	4	0.480	5	0.724	3	0.513
Potasio	3	0.289	4	0.480	3	0.513	8	1.000	3	0.513	3	0.513	5	0.724	4	0.480	3	0.513
Sodio	0	0.034	4	0.480	4	0.827	1	0.043	4	0.827	3	0.513	0	0.034	4	0.480	4	0.827

## 6.7 La transformación de los suelos boscosos a agrícolas y la pérdida de nutrientes

Los efectos de la transformación del bosque hacia terrenos agrícolas, sobre las características físicas y químicas del suelo fueron muy evidentes, por ejemplo la densidad aparente tuvo un aumento del 15% en los suelos provenientes de bosque de pinos y de 11% de los suelos de bosque de oyamel (Tabla 24). Esta propiedad está relacionada con el incremento en el porcentaje de arena, que es evidente en la transformación de los suelos de bosque de oyamel, en la que aumentó en 16%. Estos incrementos pueden deberse a la erosión que mueve principalmente las partículas más finas como las arcillas, dejando preferentemente arenas (De Jong *et al.*, 1983).

**Tabla 24.** Incremento (+) o disminución (-) en porcentaje, causado por el cambio de uso de forestal a agrícola, en suelos del Citlatepetl, Puebla.

	Mf - Ma	Pf - Pa	Of - Oa
	Mixto a agrícola	Pino a agrícola	Mixto a agrícola
Densidad aparente	+2	+15	+11
Porosidad %	+1	-9	-5
Arena %	+6	+8	+16
Arcilla %	-14	+5	-15
Limo %	-10	-16	-22
pH-KCl	-2	+4	-8
pH-agua	-1	+2	-6
% de carbono	-28	-41	-61
Nitrógeno %	-31	-36	-62
CIC	+16	-12	-56
Ca	-6	-14	-46
Magnesio	-37	-19	-20
Potasio	-29	+56	-13
Sodio	-45	+26	-15

La reducción de elementos como calcio y magnesio fue mayor en los suelos agrícolas provenientes del bosque de oyamel (decrementos de 46% para el Ca y 20% para Mg) y de *Pinus*. Estos resultados son similares con lo reportado por Schmitz *et al.* (1998) sobre la disminución de estos elementos en suelos de bosque de pinos y bosques deciduos antiguos (*Quercus spp.*), que fueron substituidos por tierras agrícolas, donde en el Norte de España el cambio de suelos forestales de pino causó la pérdida del 50% de calcio y de 30% de magnesio.

La pérdida de condiciones originales fue más importante en la materia orgánica y nitrógeno, así como en la relación de estos. La reducción no es homogénea en los bosques estudiados, siendo menos importantes en los bosques mixtos, seguido por los bosques de pino y acentuándose en la transformación de los bosques de oyamel. Este decremento diferenciado según el tipo de vegetación puede estar condicionado

por la intensidad en las prácticas de manejo agrícola, así como por las características ambientales propias de esa asociación vegetal y a la topografía donde se encuentra.

Hassink (1994) puntualiza que los principales minerales afectados después de una alteración antropogénica considerada como agresiva para el suelo, son nitrógeno, potasio, calcio y magnesio; datos que concuerdan con lo reportado para el Citlaltepétl.

La relación C/N disminuyó considerablemente en los bosques de oyamel, lo que se asocia a la pérdida de nutrientes (Wander et al 1990). Para el caso de transformación del bosque en el Citlaltepétl, el decremento en la relación C/N indica recientes disturbios en los cuales se abandona material vegetal del sistema anterior sobre la superficie del suelo. Estos suelos transformados muestran una acidificación (de 6.8 bajó a 5.7) y reducción de materia orgánica.

El relieve también afectó los cambios en los contenidos de nutrientes del suelo; por ejemplo en las diferencias en la disminución de materia orgánica entre los suelos transformados a agricultura a partir de bosque mixto que fue de 28% y de 62% en los bosques de oyamel. Esto sugiere que los suelos de ladera de los bosques de oyamel tuvieron menor capacidad de retención de nutrientes que los que tienen pendientes más suaves. Este comportamiento también fue reportado por García-Oliva (1998), quien reconoce que los suelos de selva transformados a pradera ven maximizada la pérdida de nutrientes en laderas y en menor grado en crestas.

De toda esta gama de respuestas a las perturbaciones antropogénicas, resalta que los suelos de los bosques de pino y encino son resistentes, es decir tienen la capacidad de recuperar la vegetación nativa y regenerar la calidad original del suelo, en un tiempo relativamente corto ya que en 20 años forman un dosel cerrado, aun cuando necesiten mucho más años para alcanzar la estructura de un bosque maduro.

Esta rápida recuperación se debe a que la mayoría de las especies de coníferas están adaptadas a conquistar los claros, de modo que en estas circunstancias se comportan como especies pioneras favorecidas por la perturbación. Siempre y cuando exista una fuente de propágulos las coníferas son capaces de repoblar los claros que se dejan por el abandono de las parcelas, por el corto uso de laderas, etc. (Challenger, 1998), de aquí la importancia de mantener zonas boscosas cercanas a las parcelas agrícolas (Pettenker y Game, 1984).

## 6.8 La relación suelo - comunidad forestal y/o agrícola

Por medio del análisis de gradiente directo se verificó la racionalidad del modelo, es decir la relación entre especies vegetales y variables ambientales, y resulto tener una respuesta unimodal, por lo tanto se utilizó el método de ordenación análisis canónico de correspondencias (ACC) (Ter Braak, 1996, Huerta-Martínez, et al; 1999). De haber presentado una respuesta lineal se debería analizar con otra tipo de ordenación PCA o RDA.

Un primer análisis en CANOCO 4.0 indicó que algunas variables presentaban colinealidad por lo que se omitieron cuatro variables<sup>7</sup>, que fueron: el pH en agua; porcentaje de arcilla; densidad real y CIC. La colinealidad puede significar que los valores para dichas variables son tan similares que si se incluyeran en el análisis su efecto podría confundirse. Sin embargo, de acuerdo con Ter Braak (1986), la colinealidad también puede interpretarse como una correlación muy fuerte entre variables ambientales.

La Ordenación ACC con las 13 variables restantes<sup>8</sup> demuestran que contribuyen al 59.8 % de la variación explicada acumulada considerando los 4 primeros ejes de la relación "especies vegetales<sup>9</sup>-ambiente". Y el porcentaje acumulado de la variación debida solo a las especies es de 47.8%. La prueba de significancia, (prueba de permutación de Monte Carlo –PPMC-) no fue significativa para el primer eje ( $p > 0.05$ ). Este resultado indica que esta relación puede deberse a efectos aleatorios y no a las variables incorporadas al modelo, por lo que se hizo necesaria una nueva depuración de variables.

Palmer, M. (1993) indica que incluir muchas variables ambientales en el diagrama CCA puede ser muy informativo para el investigador en una fase exploratoria del análisis, pero esto dificulta la comunicación de los datos en el diagrama de ordenación. Una segunda reducción de variables se hizo con el procedimiento "selección posterior", incluido en el programa CANOCO. Este proceso adicionó variables ambientales semiautomáticamente, una a la vez, y localizó el conjunto mínimo de variables que explican a las especies y a los sitios. Las variables incorporadas al modelo tuvieron un nivel de significancia del 10% de acuerdo a la PPMC.

El resultado arrojado por el programa fue de ocho variables ambientales: el pH; el porcentaje de arena; el porcentaje de limo; la densidad aparente; el porcentaje de materia orgánica; el calcio intercambiable; el potasio y la pendiente.

<sup>7</sup> Los resultados de CANOCO indican de cada variable: la media, la desviación estandar y el VIF (variante inflation factor). Un VIF grande indica que la variable es redundante o con alta colinealidad con otras variables.

<sup>8</sup> pH; el porcentaje de arena; el porcentaje de limo; la densidad aparente; el porcentaje de porosidad; el porcentaje de materia orgánica; el porcentaje de nitrógeno, el calcio y magnesio intercambiables, el contenido de potasio y sodio, la altitud y la pendiente

<sup>9</sup> Especies vegetales se refiere a especies agrícolas y a especies forestales.

El análisis ACC con esta nueva matriz (20 sitios y 8 variables ambientales) demostró que las ocho variables explican el 38.2%. La variación explicada de la relación variables edafocológicas – especies vegetales, fue de 71.9%. De acuerdo a la PPMC, existen fundamentos para confiar en que la relación para el eje 1 ( $p=0.05$ ) o la traza ( $p= 0.005$ ) no se deben a efectos aleatorios, sino a las variables incorporadas al modelo.

Los valores propios (VP) miden la importancia de cada eje (valores entre 0 y 1). El primer valor propio (eje 1) fue de 0.84; los valores para los ejes siguientes fueron: 0.71 para el segundo, 0.6 para el tercero y 0.46 para el cuarto eje.

La inercia total o la varianza fue 6.85. Si no hay covariables en el modelo este dato es igual a la suma de los VP sin restringir (ver Tabla 25), para este modelo fue igual. La cantidad de la variación total que puede ser explicada por la variación ambiental es la suma de los VP canónicos que fue de 3.64. La correlación especie – variables edafocológicas que mide la fuerza de la relación entre estas dos y un eje en particular, tuvo en este caso, para los dos primeros ejes, un coeficiente  $r = 0.95$ .

**Tabla 25.** Resultados del análisis de correspondencia canónico.

Ejes	1	2	3	4	Inercia Total
Valores propios (VP)	0.843	0.713	0.6	0.463	6.85
Correlación especies vegetales-ambiente	0.951	0.956	0.925	0.865	
Porcentaje de varianza acumulada(PAVE)					
de los datos de especies vegetales	12.3	22.7	31.5	38.0	
de la relación especies vegetales-ambiente	23.1	42.7	59.2	71.9	
Suma de los VP sin restringir					6.85
Suma de los VP canónicos					3.64
Significancia del primer eje canónico	0.05				
Significancia de la traza	0.005				

La PPMC calificó la significancia de la relación entre los sitios, las variables edafocológicas y las especies. El primer valor propio es de 0.843 y el cociente F es de 1.54, con un valor de significancia asociado  $p = 0.05$ . El resultado de la prueba basada en la suma de los cuatro valores propios (la traza) fue de 3.64 con un cociente F de 1.56, resultando en un valor  $p = 0.005$ . Lo anterior demuestra que la relación entre las variables edafocológicas, los sitios y las especies es altamente significativa.

Otro resultado importante del CCA es la cantidad de la variación total que puede ser explicada por la variación ambiental y el peso que tiene cada variable dentro del modelo CCA, en este caso el porcentaje de varianza explicada del pH es de 20%, seguida del potasio con 15.6%, después el calcio con 15%, como se indica en la tabla 26. En cuarto sitio se ubica el porcentaje de arena con 12.9%, en quinto lugar la pendiente con 8.5% seguida del porcentaje de materia orgánica con 8% y finalmente el porcentaje de limo con 7%.

**Tabla. 26.** Resumen de varianza explicada por cada variable dentro del modelo suelo-comunidad.

Variable	Varianza Explicada acumulada	Varianza explicada	Porcentaje
PH	0.74	0.74	20.33
Potasio	1.31	0.57	15.66
Calcio	1.87	0.55	15.11
Densidad	2.31	0.44	12.09
Materia orgánica	2.61	0.3	8.24
Pendiente	2.91	0.31	8.52
Limo	3.17	0.26	7.14
Arena	3.64	0.47	12.91

Como se mencionó, para el eje 1 la relación entre especies (EE) y variables ambientales o edafocológicas (EA) es de 0.95, donde la varianza explicada más alta fue para la variable pH con 0.79; seguida de la pendiente con 0.78 y el EE2 el potasio con 0.73. En lo referente a los ejes ambientales, (ver Tabla 27 datos en negritas) para los valores del eje EA1, las variables de mayor peso fueron: el pH con 0.83; el calcio con 0.80; y la pendiente con 0.81. En el eje EA2 el potasio con 0.76.

**Tabla 27.** Matriz de correlación ponderada (con base en el total de la muestra) para los Ejes Ambientales (EA) 1 y 2, ejes de especies (EE) 1 y 2 con las variables ambientales significativas.

	EE1	EE2	EA1	EA2
EE1	1.0000			
EE2	0.0079	1.0000		
EA1	0.9509	0.0000	1.0000	
EA2	0.0000	0.9558	0.0000	1.0000
PH	<b>0.7931</b>	0.3161	<b>0.8340</b>	0.3307
Arena	-0.4064	0.2547	-0.4273	0.2665
Limo	0.5267	-0.1431	0.5539	-0.1497
Densidad aparente	-0.3956	0.1508	-0.4160	0.1578
Materia orgánica	0.2580	-0.3164	0.2713	-0.3311
Calcio	<b>0.7619</b>	-0.1282	<b>0.8012</b>	-0.1341
Potasio	0.2253	<b>0.7355</b>	0.2369	<b>0.7695</b>
Pendiente	<b>0.7775</b>	0.3891	<b>0.8177</b>	0.4071

La solución Gráfica de este análisis consiste es un diagrama de ordenación en el que se distribuyen los 20 sitios en forma de punto y las 8 variables ambientales del modelo en forma de flecha, este diagrama describe el 42.7% de la varianza en el cual se graficaron los dos primeros ejes; el primer eje estuvo determinado por el pH y la pendiente, y se representan por flechas de mayor longitud que se ubican en el lado positivo del cuadrante. Esta similitud en los valores no puede ser explicada por una correlación entre estas

variables ya que su coeficiente de correlación es de solo 0.35. En el eje 2 el potasio fue la variable ambiental de mayor peso.

#### **Aplicación del modelo a sitios específicos**

El diagrama de la Figura 20 demuestra que los sitios forestales asociados a bosque mixto presentan homogeneidad parcial, ya que solo los sitios 6Mf y 7Mf se localizan en el extremo positivo del eje 2, y el sitio 5Mf se localiza en el extremo negativo del mismo eje. Lo anterior implica que aunque esos sitios fueron agrupados como bosque mixto sólo dos de ellos tienen homogeneidad en sus características. Por otra parte los sitios agrícolas Ma presentan características muy similares entre sí, ya que en el diagrama se ubican todos en el mismo cuadrante y en posiciones cercanas. Estos sitios se ubican contrarios a la pendiente, es decir se trata de sitios de menor pendiente (la mayoría se ubica en 4°). Así mismo, dichos sitios se encuentran al lado opuesto de la flecha de pH, es decir con poca relación con esta variable.

Los sitios forestales de bosque de pino no presentaron agrupación alguna, 1Pf se ubicó en el extremo inferior del eje 1, 2Pf en el extremo opuesto del primero, 3Pf en el centro y Pf4 en el extremo inferior del eje 2, esto implica seguramente diferencias muy grandes entre dichos sitios.

Por otra parte la pareja de sitios forestal-agrícola, 2Pf -2Pa, y 4Pf-4Pa, se ubican muy cercanos, lo que podría atribuirse a poca diferencia en sus características o a poco cambio derivado de la transformación de uso forestal a uso agrícola.

Los sitios forestales de bosque de oyamel (8Of, 9Of y 10Of) se encuentran opuestos al resto de los sitios, pero también muestran separación entre ellos, lo que puede atribuirse a diferencias importantes debidas a la diversidad ambiental física, química y biológica del bosque de oyamel. Estos sitios se ubican en el extremo positivo del eje 1, donde la pendiente, el pH y la concentración de calcio, constituyen las variables más importantes que determinan estos sitios. De acuerdo con Avila-Bello (1997) quien estudió las características de los oyametales, se reconoce la preferencia de esta comunidad vegetal por zonas con pendientes pronunciadas.

En el extremo negativo del eje 2 se agrupan los sitios agrícolas, los cuales están mayormente determinados por bajos porcentajes de materia orgánica. Esto se aprecia claramente si extendemos la flecha que representa esta variable hacia su extremo opuesto.

Los resultados anteriores muestran en general diferencias entre sitios asociadas al cambio en el uso de la tierra de forestal a agrícola principalmente en los sitios de bosque de oyamel y su contraparte agrícola. Sin embargo para tener datos concluyentes es necesario analizar un número mayor de muestras, que indiquen la gran variación física que presentan los suelos de los distintos tipos de bosque, así como obtener el intervalo de variación de los componentes químicos analizados en cada suelo.

Otro problema del diseño de estos experimentos consistió en la comparación entre solamente dos puntos en el tiempo (dos edades). Cuando los resultados de los análisis físico-químicos fueron comparados se observan diferencias significativas que podrían sugerir una tendencia lineal con respecto al tiempo. Por esta razón es necesario el análisis de puntos intermedios, por ejemplo 10, 20 y 50 años. Deben analizarse edades inmediatamente posteriores al cambio de uso, ya que los cambios más notables en la pérdida de nutrientes se desarrollan rápidamente en los primeros años después del disturbio (Bormann y Likens, 1979).

Otros estudios que utilizan el análisis de correspondencias canónicas como el trabajo de Huerta-Martínez *et al* (1999) en el que analizaron la relación suelo-comunidad vegetal de pitayo y cardón. Después de depurar dos veces las variables para eliminar variables edáficas no correlacionadas, obtiene un porcentaje de la variación acumulada hasta el eje 4 de 41.5% y una correlación entre especies y ambiente en el primer eje de  $r = 0.88$ . Esto indica que en nuestro caso la variación acumulada fue mayor pues es de 71.9% y la correlación especies-ambiente de 0.86.

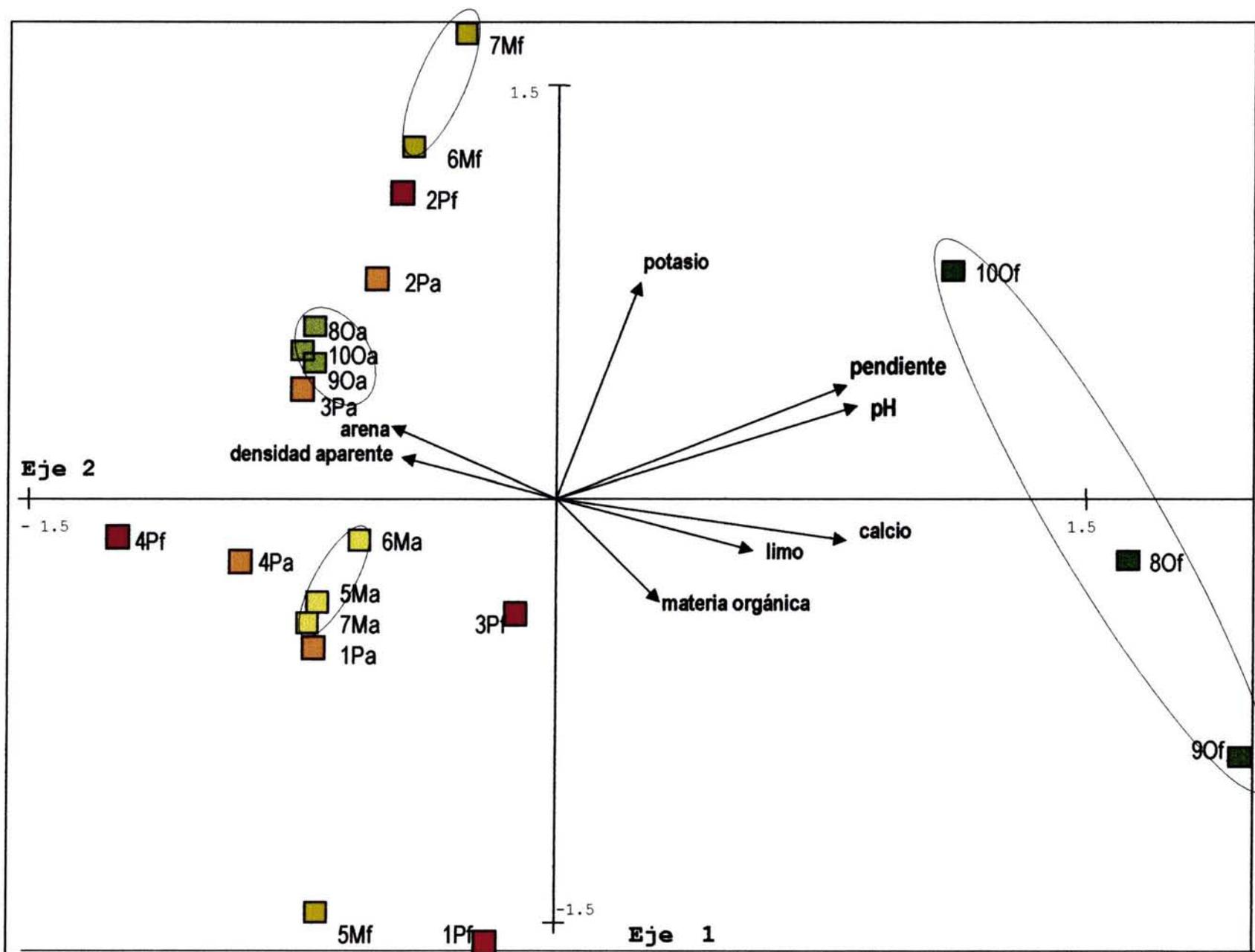


Figura 20. Diagrama de ordenación que muestra los sitios forestales de pino (rojo), oyamel (verde) y bosque mixto (amarillo) y su contraparte agrícola (mismo tono, más claro), a partir de datos florísticos y características de suelos.

## 7. Conclusiones

1. La evaluación histórico-natural de la vertiente occidental del pico de Orizaba a escala regional, concluye que la vegetación natural existía en amplios rangos altitudinales, pero debido a la extracción constante de madera en la ladera oeste del el volcán Citlaltépetl ha llegado a conservar un área mínima de vegetación nativa.
2. Debido a cuestiones históricas sobre el uso del suelo en los años 40, la evaluación de la tasa de cambio en el uso del suelo fue muy baja para los últimos 30 años, sin embargo, debido a que solo quedan pequeños parches de vegetación nativa, el continuar con prácticas de extracción de madera, apertura de claros y aumento de la frontera agrícola pueden provocar la transformación total de la cobertura vegetal, aumentar las tasas de erosión, disminuir la producción agrícola y probablemente la pérdida de la productividad del ecosistema. Por otra parte la baja resolución de las fotografías aéreas solo hizo posible comparar cambios perceptibles por estos medios que son a nivel espacial y de cobertura, sin embargo las modificaciones en estructura y composición de especies o bien el impacto a nivel químico y físico del suelo se evidencian a más largo plazo y solamente monitoreándolas con técnicas más precisas que hacen posible percibir estos daños.
3. Resultados importantes de ésta investigación fueron los análisis de los suelos forestales de distintas asociaciones vegetales, así como suelos agrícolas provenientes de los distintos tipos forestales. Estos resultados no solo confirman la pérdida de elementos y el decremento en porcentajes de los macronutrientes, situación que ya otros autores han confirmado (Matson, 1997) sino que particulariza sobre las diferencias entre la composición de algunas características edáficas de los tipos de bosque y su contraparte agrícola. Así mismo, para estudios de cambio de uso del suelo, es posible que dependiendo de algunas características físico-químicas de los suelos agrícolas se infiera el tipo de comunidad vegetal que le antecedió.
4. La respuesta del suelo al cambio de uso fue diferenciada según el tipo de vegetación siendo los oyametales el ecosistema que mayores cambios observó en su estructura edáfica física y química, lo que lo hace el sistema más vulnerable.
5. Cada tipo de comunidad vegetal presentó diferente susceptibilidad al cambio de uso y por lo tanto una respuesta distinta a la transformación de bosque a zona agrícola. Los bosques de pino tienen mayor

capacidad edáfica para la retención de nutrientes, lo cual está muy relacionado con el contenido de materia orgánica del suelo. Por el contrario el suelo del oyamental debido a las características del medio físico en el cual se desarrolla (topografía accidentada y fuertes pendientes) es más dinámico y con una menor capacidad de retención de nutrientes, por esta razón estos sitios pierden más rápido sus propiedades.

6. La región montana de Tlachichuca en las faldas del Citlaltepetl, ha sido explotada por el hombre pero a pesar de este hecho no se ha logrado un desarrollo prospero de sus habitantes, muy al contrario los resultados de este trabajo indican un deterioro ambiental, ecológico y socioeconómico. Proyectos futuros deberán dirigirse hacia la implantación de medidas de restauración que puedan favorecer la regeneración natural de los bosques, principalmente en las laderas.
7. Así también proponer usos de la tierra que controlen y eviten la pérdida de suelo y estimulen su recuperación. Alternativas al cambio de uso del suelo como forestería, procesamiento de recursos forestales no maderables, turismo ecológico, ranchos cinegéticos, pago por servicios ambientales, entre otros, son posibilidades que podrían revertir el escenario negativo.
8. Estos mecanismos de protección ambiental de áreas declaradas bajo cuidado como lo es el Parque Nacional Pico de Orizaba, son los únicos incentivos que promuevan entre los ejidatarios, comuneros y pequeños propietarios el resguardo de la riqueza natural del país.

---

## 7. Bibliografía

- Aguilera, N y I. Domínguez**, 1989. Metodología de Análisis Físico-Químicos de suelos. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 35 p.
- Anónimo**. 1992. UNCED: Rio Conference on Environment and development. *Environment policy and law*. 207 pp.
- Arizpe, L., Paz, L y M. Velazquez**. 1993. Cultura y cambio global: percepciones sociales sobre la deforestación en la selva Lacandona. Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias. UNAM, Porrúa, 230 pp.
- Avila-Bello, C.H.** 1996. Observaciones sobre un sistema de producción agrícola en el Pico de Orizaba, Veracruz, México. *Bol. Soc. Bot. México* 59:59-66.
- Beinroth, F.H., W. Luzio L., F. Maldonado P., and H. Eswaran**. 1985. Proceedings of the Sixth International Soil Classification Workshop, Chile and Ecuador. Part I: Papers Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, Santiago, Chile.
- Birkerland, P.W.** 1984. Soils and geomorphology. Oxford University Press. N.Y. 320 p.
- Bormann, F.H. y G.E. Likens**. 1979. Pattern and process in a forested ecosystem. Springer-Verlag, New York, New York, USA.
- Cordero y Torres, E.** 1965. Historia Compendiada del estado de Puebla.. Edit. Grupo literario Bohemia Poblana. Puebla, México.
- Challenger, A.** 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro. Edit. CONABIO. México, D.F. 847 p.
- Chapela, G.** 1996. Panorama del sector Forestal en México. *Gaceta Ecológica* 38:27-39. INE-SEMARNAP. México, D.F.
- De la Cruz, J., P. Zorogastúa y R.J. Hijmans**. 1999. Atlas de los recursos naturales de Cajamarca. Sistema de producción y recursos naturales, Documento de trabajo 2, Centro Internacional de la Papa, Lima, Perú.
- De Jong E., C.B.M. Begg y R.G. Kachanoski**. 1983 Estimate of soil erosion and deposition for some Saskatchewan soils. *Canadian Journal Soil Science* 63:607-617
- Di Castri, F. y A.J. Hansen**. 1992. The environment and Development Crises as determinants of landscape Dynamics. In Hansen, J.A. and Di Castri F. (Eds.). *Landscape boundaries. Consequences for biotic diversity and Ecological Flows*. Springer-Verlag. New York, USA pp.3-18
- Dirzo-Minjarez, R., O. Masera-Cerruti y M.J. Ordoñez**. 1992. Carbon emissions and sequestration in forest: case studies from seven developing countries. EPA. USA. 49 p.

- Dirzo, R. y M.C. García.** 1992. Rates of deforestation in Los Tuxtlas, a Neotropical area in southeast Mexico. *Conservation Biology*. Volume 6, No.1, March.
- Ern, H.** 1972. Estudio de la vegetación en la parte Oriental del México Central. *Comunicaciones* 6: 1-8. Puebla, México.
- Farjon, A.F.L.S.** 1996. Biodiversity of Pinus (pinaceae) in Mexico: speciation and paleo-endemism. *Botanical Journal of the Linnean Society*.121: 365-384
- FAO.** 1995. Evaluación de los recursos forestales (1990), países tropicales. *Estudios FAO Montes*, num.112, 41 p.
- FAO-UNESCO 1974.** Soil Map Chart. Estudio FAO.
- Ferrusquía-Villafranca, I.** 1993. **Geology of Mexico: a synopsis.** En Ramamoorthy TP, Beye R., Lot A., Fa, J. (eds). *Biological diversity of Mexico: origins and distribution*. New York: Oxford University Press, 3-107.
- Florescano, E. y I. Gil.** (Comp.). 1973. *Descripciones económicas Generales de la Nueva España, 1784 - 1817*. SEP-INAH.
- Flores-Villela, O. y P. Gerez.** 1994. Biodiversidad y Conservación en México: vertebrados, vegetación y uso del suelo. UNAM y CONABIO. México. 439 p.
- Forman, R.T. y M. Godron.** 1986. *Landscape Ecology*. John Wiley. New York USA. 603 p.
- Fundación Ebert Stiftung Friedrich.**1990. Desarrollo y medio ambiente en México. Diagnóstico, 1990. Colección medio ambiente. Edit. Fundación Universo 21. pp. 165.
- García-Cubas, A.** 1899. *Diccionario Geográfico, Histórico y Biográfico de los Estados Unidos Mexicanos*. Oficina TipoGráfica de a Secretaria de Fomento. México. Tomo V.
- García, E.** 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen, 217 pp. Offset Larios, México.
- García del Valle, L. G.** 2000. Evaluación del estado forestal del parque nacional Nevado de Toluca, Estado de México. Tesis para obtener el grado de maestra en ciencias. Facultad de Ciencias. UNAM.
- García-Oliva.** 1998. Efecto de la transformación de la selva a pradera sobre la dinámica de los nutrientes en un ecosistema tropical estacional en México. *Bol. Soc. Bot. México* 62:39-48.
- Galeotti, E.** 1861. *Boletín de la Sociedad de Geografía y Estadística de la República Mexicana*. Tomo I. 3a. Edición. 271-273pp.
- Gerhard, P.** 1972. *A guide to the historical geography of New Spain*. Cambridge Univ. Press. 476 p.
- Gerhardt, F. y D. Foster.** 2002. Physiographical and historical effects on forest vegetation in Central New England, USA. *Journal of Biogeography*, 29, 1421-1437.
- Gérez, P.** 1983. *Cronica del Uso de los recursos Naturales en la cuenca Perote-Libres*. en El

- Cofre de Perote, Investigaciones ecológicas en un área conflictiva. INIREB, Xalapa, Veracruz. México.
- Hassink, J. 1994. Effects of soil texture and grassland management on soil organic C and N rates of C and N mineralization. *Soil Biol. Biochem.* 26, 1221-1231.
- Hetch, S.B. y A. Cockburn. 1989. *The rate on the forest*, Verso, London, 266 p.
- Hobbs, R. y A.D. Saunders. (eds). 1993. *Reintegrating. Fragmented landscape. Towards Sustainable production and nature conservation.* Springer-Verlag. Australia. 325 p.
- Huerta-Martínez, M.F., E. García-Moya, J.L. Flores-Flores, y E. Pimienta Barrios. 1999. Ordenación de las poblaciones silvestres de Pitayo y cardón en la cuenca de Sayula, Jalisco. *Bol. Soc. Bot. México.* 64:11-24.
- INEGI. 1987. *Síntesis Geográfica, Nomenclator y Anexo Cartográfico del Estado de Puebla.* Méx, D.F. 57 p. y 9 mapas.
- INEGI, 1992. *Carta edafológica 1,250,000 Veracruz E14-3.* Dirección General de Geografía.
- INEGI. 1994 a. *Anuarios estadístico del Estado de Puebla.* México. 618 p.
- INEGI. 1994 b. *Resultados definitivos. VII Censo agrícola-ganadero. Tomo I-IV.* México.
- Jiménez Pérez M.A. 2001. *Actividad Ganadera menor y su efecto sobre la vegetación herbácea en comunidades de alta montaña del municipio de Tlachichuca, en la vertiente poblana del pico de Orizaba.* Tesis profesional para obtener el título de bióloga. BUAP.
- Johnson G.E.L. 1970. *Morfogénesis y clasificación de algunos perfiles de suelos derivados de cenizas volcánicas del pico de Orizaba, Puebla y Veracruz.* Tesis para obtener el título de biólogo. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 78 p.
- Jongman, R.H.G., C.J.F. Ter Braak, y O.F.R. Van Tongeren. 1987. *Data analysis in community and landscape ecology.* Pudoc Wageningen. The Netherlands. 299 p
- Kappelle, M. y M.E. Juaréz. 1995. *Agro-ecological zonation along an altitudinal gradient in the montane belt of the Los Santos Forest Reserve in Costa Rica.* *Mountain Research and development*, Vol. 15 No. 1. Pp 19-37
- Koeppen, W. 1948. *Climatología.* Fondo de cultura económica. México, D.F. 478 pp
- Lauer, W. 1979. *Medio ambiente y desarrollo cultural en la región de Puebla- Tlaxcala.* *Comunicaciones* 16, Puebla, México. pp 29-53.
- Lund, H.G. 1999. *Definitions of forest , deforestation, afforestation and deforestation.* *Forest information services.* Manassas, V.A.,USA.
- Mas, J.F., V. Sorani y R. Alvarez. 1996. *Elaboración de un modelo de simulación del proceso de deforestación.* *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Número 5.* México, D.F.

- Masera, C.O., M.J. Ordóñez, y M.R. Dirzo. 1997. Carbon emissions from Mexican forests: current situation and long-term scenarios. *Climatic Change* 35,256-295.
- Matson, P.A., W.J. Parton, A.G. Power, y M.J. Swift. 1997. Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science*. Vol. 277. 504-509.
- Medellin-Zenil, A. 1975. *Nepatecutlan*. Inst. Antrop. Univ. Ver., Gobierno del Edo. Xalapa, Ver.
- Miehlich, G. 1979. El efecto del desmonte y de la agricultura en los suelos de la Sierra Nevada de México. *Comunicaciones* 16:69-80. Puebla, México.
- Müeller-Dombois, D. y H. Ellenberg. 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. Wiley international edition. U.S.A.
- Munsell. 1954. *Soil color chart*. Munsell Color Co. Inc. Maryland. USA.
- Nelson, D.W. y L. Sommers. 1992. Total carbon and organic matter, in *Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties*, A.L. Page, R.H. Millner and D.R. Keeney (eds.), *Agronomy* 9, part 2, American Society of Agronomy. Inc. And Soil Science Society of America, Madison, pp.539-579
- Ohngemach, D. y H. Straka. 1978. La historia de la vegetación en la región Puebla Tlaxcala durante el cuaternario tardío. 1978. *Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala* 15. Puebla, México. 189-196
- Okalebo, J.R., K.W. Gathúa, y P.L. Woomer. 1999. *Laboratory methods of soil and plant analysis. A working manual*. TSBF UNESCO-ROSTA.
- Ortega Escalona, F. La madera: un recurso castigado. *Ciencias*. Revista de Difusión Facultad de Ciencias, UNAM. 28: 27-30. México, D.F.
- Ortega, T. E. 1978. *Química de Suelos*. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. México. 152 p.
- Ortiz- Hernández, M.L., E. Sánchez-Salinas, y M.E. Gutierrez-Ruiz. 1993. *Análisis de suelos, Fundamentos y Técnicas*. Parte II. Universidad Autónoma de Morelos, México.
- Ortiz, V.B. y A. Ortiz. 1980. *Edafología*. 3ª. Edición. UACH. Chapingo, México. 331 p.
- Palacios, E. J. 1917. *Puebla, su territorio y sus habitantes*. Edit. Secretaria de Fomento. Puebla, México. 367 p.
- Palmer, M.W. 1993. Putting things in even better order: the advantages of canonical correspondence analysis. *Ecology* 74:2215-30
- Peterken, G.F. y M. Game. 1984. Historical factors affecting the number and distribution of vascular plant species in the woodlands of central Lincolnshire. *Journal of ecology*, 72, 155-182.
- Peterken, G.F. 1993. *Woodland conservation and management*. Chapman & Hall, London.
- Pritchett, W.L. 1986. *Suelos forestales. Propiedades, conservación y mejoramiento*. Editorial Limusa. México. 634 p.

- Rojas Viloria, A.** 2001. Evaluación del deterioro forestal en la vertiente noroccidental del Volcán Pico de Orizaba, Tlachichuca, Puebla. Manuscrito para Tesis de maestría en Ciencias (Ecología y Ciencias Ambientales). Facultad de Ciencias, UNAM.
- Ruza, F.** 1993. Tratado del Medio Ambiente en México. En: Tratado Universal del Medio Ambiente. Vol. 8. 1ª Edición. Rezza Editores. Madrid, España. 124 p.
- Rzedowski, J.** 1978. Vegetación de México. Limusa. México. 179 p.
- SARH.** 1994. Inventario Forestal Nacional Periódico, Memoria Nacional, Publicaciones de la De. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaría forestal y de Fauna Silvestre. México. 81 pp.
- Sader, S. A.** 1995. Spatial characteristics of forest clearing and vegetation regrowth as detected by Landsat T.M. imagery. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Vol. 61, num 9, 1145-1151.
- Sauders, D., R. Hobbs y C. Margules.** 1991. Biological consequences of Ecosystem Fragmentation: a Review. Conservation Biology. Volume 5, No.1.
- SEMARNAP.** 1997. Ley General del Equilibrio ecológico y la protección al ambiente. Edit. PROFEPA. México, D.F.
- SEMARNAP,** 1999. Estadísticas del medio ambiente. México. D.F.
- Stadel, C.** 1986. Altitudinal patterns of agricultural activities in the Patate Palileo area of Ecuador. Mountain Research and Development , 6(1):53-62.
- SEDUE.** 1988. Manual de ordenamiento ecológico del territorio, subsecretaría de ecología, Dirección General de Normatividad y Regulación Ecológica. México. 356 p.
- Skole, D.L.** 1994. Data on global land-cover change in change in land use and lans cover: a global perspective, Meyer, W. B. and B.L. Turner (eds.), Camvridge University Press, 537 pp.
- Schmitz, M., J. Atauri, C. Pablo, P. Martin, A. Rescia, y F. Pineda.** 1998. Changes in land use in Northern Spain: Effects of forestry management on soil conservation. Forest Ecology and Management 109: 137-150.
- Sokal R.R. y F.J. Rohlf.** 1981. Biometry. Freeman, New York.
- Styles, B.T.** 1993. Genus Pinus: A Mexican purview. En: Ramamoorthy TP, Beye R., Lot A., Fa, J. (Eds). Biological diversity of Mexico: origins and distribution. New York:Oxford University Press, 397-420.
- ter Braak, C.J.F.** 1986. Canonical correspondence analysis: new eigenvector techniques for multivariate direct gradient analysis. Ecology:67859.pp.1167-1179

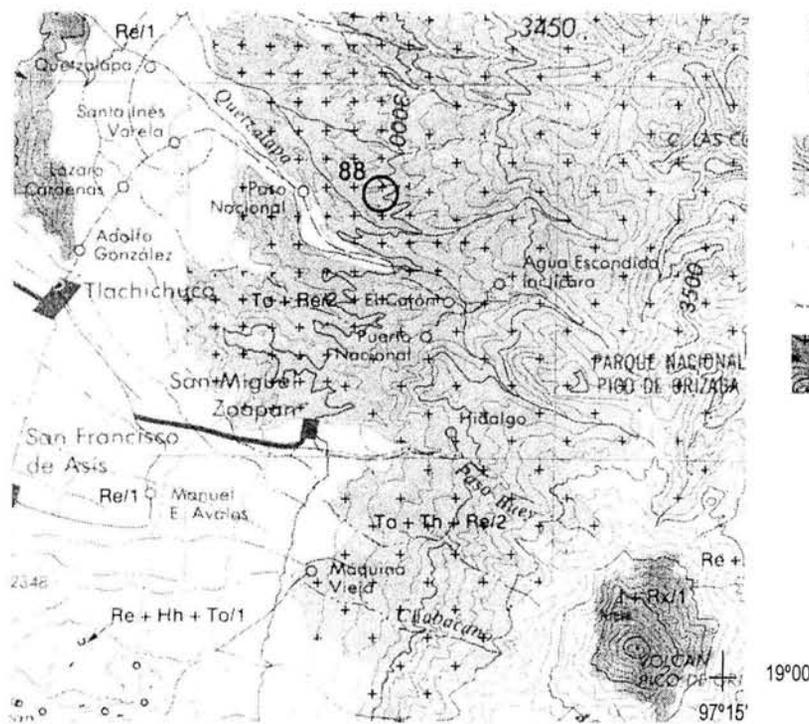
- ter Braak, C.J.F. y P. Smilauer. 1998. CANOCO reference manual and user's guide to CANOCO for Windows: Software for Canonical Community Ordination (version4). Microcomputer Power. Ithaca, NY. USA. 352 pp
- Therrell, M.D., D. Sthale, J. Villanueva-Diaz, E. Cornejo-Oviedo y M. Cleaveland. 2003. Manuscrito preparado para *Climatic Change*.
- Tiessen, H., H.I. Salcedo, y E.V.S.B. Sampaio. 1992. Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semi-arid northeastern Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 38: 139-151.
- Toledo, V.M. 1987. La diversidad biológica de México. Ensayo presentado en la reunión sobre conservación de la Diversidad Biológica en México, mayo 27-29. Xalapa, Ver.
- Toledo, V.M., J. Carabias, C. Toledo y C. González-Pacheco. 1989. La producción rural en México: alternativas ecológicas. Fundación Universo Veintiuno. Colección Medio Ambiente # Méx. D.F. 402 p.
- Torquemada, F. J. de., 1615. Monarquía Indiana. Editorial Porrúa. 5a. Edición. 1975. México. Tomo II.
- Trejo, I. y R. Dirzo. 2000. Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in Mexico. *Biological Conservation*. 94 (2000) 133-142.
- Turner, G.M. 1989. Landscape Ecology: The effect of pattern on Process. *An. Rev. Ecol. Syst.* 20:171-197
- Valera-Pérez , M.A. 1993. Físicoquímica y mineralogía de andosoles en la región de Teziutlán, Estado de Puebla. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 295 p.
- Varela-Hernández, S. 2000. Cifras sobre la deforestación en México. Ciclo de Conferencias "El Sector Forestal de México, Avances y Perspectivas". Dirección general forestal. SEMARNAP. México
- Vázquez-Yanes, C. y A. Orozco Segovia. 1989. La destrucción de la naturaleza. Fondo de Cultura Económica. Méx. D.F. 102 p.
- Velázquez, A. y A.M. Cleef. 1993. The plant communities of the volcanoes "Tlaloc" and "Pelado", México. *Phytocoenologia*, 22(2):145-191.
- Villers-Ruiz, L. 1989. Réaménagement de la région du henequen au Yucatán, Mexique. Tesis para obtener grado de Doctor. Universidad de París I – Sorbona y el Instituto de Geografía de Francia. Paris, Francia.
- Villers-Ruiz, L. 1995. Delimitación de áreas de bosque en predios forestales en el Nevado de Toluca, México: integrado en SIG, inventarios, imagen MSS y fotomapas. Memorias de VII Simposio Latamer. de Percepción Remota. México.
- Villers-Ruiz, L., A. Rojas-Viloria, A. Ruiz-Font, y E. Jiménez-Morales. 2000. Evaluación del impacto agropecuario y su relación con el deterioro forestal en el Pico de Orizaba. Informe Final SAGAR/INIFAP/CONACYT.

- Viniegra, O. F.** 1966. Paleografía y tectónica del mesozoico en la provincia de la sierra madre y macizo de Teziutlán. Bol. Asoc. Mex. Geólogos Petroleros 18(7-8):145-171 con mapas.
- Vitousek, P.M., J. Aber, R.W. Howarth, G. E. Likens, y P.A. Matson.** 1997. Human alteration of the global nitrogen cycle: causes and consequences. Issues in Ecology. Number 1. Published by Ecological Society of America.
- Waring, H.R. y H.W. Schlesinger.** 1985. Forest Ecosystem. Concepts and management. Academic Press. Inc. London.
- Wander, D.R., D.F. Grigal, S. Gleeson, y D. Tilman.** 1990. Carbon and nitrogen cycling during old field succession: constraints on plant and microbial biomass. Biogeochem. 11, 111-129.
- Wagner, H. y H. Lenz.** 1948. El bosque y la conservación del suelo. Su importancia cultural y económica. Editorial cultura. México, D.F. 169 p.
- Watson, R.T., I.R. Noble, B. Bolin, N.H. Ravindranath, J. Verardo, y D.J. Dokken (eds.)** 2000. Land use, land use change and forestry. Special report of the intergovernmental Panel of Climate Change. Cambridge University Press. U.K. 375 p.
- Weger, M. A. J.** 1974. On concepts and techniques in Zürich-Montpellier methods of vegetation survey. Bothalia. 11(3): 309-323.
- Werner, G.** 1976. La deforestación en el volcán La Malinche. Comunicaciones. Proyecto Puebla – Tlaxcala 13, 19-21. Puebla, México.
- Werner, G.** 1978. Los suelos y las sociedades de suelos de Puebla – Tlaxcala. Comunicaciones. Proyecto Puebla – Tlaxcala 15. 205-224. Puebla, México.
- Westman, E.W.** 1984. Ecology, Impact Assessment and Environmental Planning. John Wiley & Sons. USA.
- Yarza, L.E.** 1948. Los volcanes de México. Soc. Mex. De Geog. y Estadística, México. pp 101-105.

**Anexo 1. Perfiles de la región del Citlaltepetl, Puebla. (INEGI, 1984, Carta Edafológica E14-3)**

Punto de control # 88	
Profundidad	82 cm
Limitante	roca
Horizonte A	
Espesor	12 cm
Reacción HCl	nula
Textura	media
Estructura Forma:	bloques subangulares
Tamaño:	medio
Desarrollo	débil
Color en Húmedo: 10YR3/2	
Denominación: Ocrico	
Horizonte B	
Espesor	70 cm
Reacción HCl:	nula
Textura	media
Estructura	Forma: bloques subangulares
Tamaño:	grueso
Desarrollo	moderado
Color en Húmedo: 10YR4/4	
Denominación: Cámbico	
Drenaje interno: Muy drenado	
Clasificación clave: Andosol ortico	

Fase Física Lítica profunda	
Punto de Control propiedades químicas # 88	
Horizonte A1	
Profundidad	0-35
% de arcilla	10
% de limo	32
% de arena	58
Clasificación textural	Migajon
arenoso	
Color en seco	10YR4/3
Color en Humedo	10YR2.5/2
pH en agua relación 1:1	5.0
% de materia orgánica	12.2
CICT meq/100g	45.3
Na meq/100gr	0.1
K meq/100gr	0.1
Ca meq/100gr	2.8
Mg meq/100gr	2.3
P ppm	1.6



**Edafología  
Citlaltepetl, Puebla**

-  Andosol
-  Regosol
-  Litosol

## Anexo 2. Encuesta

### Pico de Orizaba Encuesta de estudio socioeconómico.

**I. Identificación del encuestado**

1.- Localidad	Ejido	Fecha	Elevación	No. De encuesta
2.- Nombre				Edad
3.- Dirección				
4.- Tiempo de que es dueño de ese terreno				

5.- Tenencia de la tierra  
(ejidal, privada, a medidad, rentada, cooperativa)

6.- No. De miembros en su familia

Familiar	Edad	Trabajo	Lugar	Permanente o temporal	Observaciones
----------	------	---------	-------	-----------------------	---------------

7.- Nivel educativo del (encuestado)

### II. Actividades Productivas

1.- No. De parcelas a su cargo  
(localidad en mapa y extensión)

2.- Actividades desarrolladas en sus terrenos (si tiene más de una parcela, explicar).

	Parcela 1	Superficie	Parcela 2	Superficie	Parcela 3	Superficie	parcela 4
--	-----------	------------	-----------	------------	-----------	------------	-----------

Agrícola

Ganadería

Forestal

### III. Agricultura

1. Recibe algún beneficio de crédito o ayuda económica para sus cultivos.

¿Cuál?

3. A qué cultivo aplica fertilizante	natural	comercial
kg/ha	desde cuándo	
costo		

4. Ha habido pérdida o baja de cosecha

en este año

¿Cuál cosecha?

en otro año

¿Por qué?

5.- Hacen técnicas de recuperación de suelo (terraceo, cultivo mixto, abono verde, rotación)

¿Cuáles?

¿Han cambiado las técnicas en el tiempo?

¿En qué año?

## 6.- Calendario de técnicas agrícolas por cultivo (usar otra hoja si es necesario)

Actividad	Meses / Año	Duración	Familiar	Asalariados	No. Jornales	Costo	Observacion
-----------	-------------	----------	----------	-------------	--------------	-------	-------------

7.- Ha cambiado sus tierras  
tiempo de abandono

## IV. Pecuario

2.- Comercialización (propio)							Beneficio de crédito
3.- Usa pastizal cultivado o inducido (quema)							
4.- Hace rotación del lugar de pastoreo ¿Según época del año?							
5.- ¿Es usado el estiércol?							
6.- El suelo en pastoreo es utilizado para otro propósito							
7.- Costo de vacunas, vitaminas(al año)							
8.- Costo de alimento (por semana)							
9.- Costo de pastor (por mes)							
10.- Costo de transporte (por venta)							
11.- Tiempo invertido en el pastoreo				No. Días / Semana		Hrs / Día	

## V. Forestal

¿De toda su parcela, cuánto se ha abierto para cultivo?  
Superficie ¿Qué había antes?  
¿Cuál es la zona que más tiempo han cultivado?  
¿Qué zona se ha comenzado a cultivar recientemente?

## VI. Descripción diacrónica de la explotación

	Hace(años):	20	15	10	5	Los prox. Años
Actividad						
Cultivo						
Superficie						
Crédito						
Fertilizantes						
No. Familiares que ayudan						

### Anexo3. Características de los sitios de muestreo edáfico de la zona de estudio

#### 1. Sitios en Bosque de Pino

La vegetación natural que homogeneiza a estos sitios son las coníferas de las especies *Pinus montezumae*, *Pinus hartwegii*, una proporción pequeña de aile *Alnus jorullensis* estos asociados a gramíneas amacolladas del género *Festuca*. En las zonas de claros encontramos *Baccharis conferta* y *Lupinus spp.*

##### Sitio forestal 1Pf y Sitio agrícola 1Pa.

Localización: Comunidad Zoapan, cerca del camino Zoapan-Miguel Hidalgo.

Altitud: 3145 msnm

Fisiografía y pendiente: Ladera baja (13°). Orientación. Oeste a Oeste-Noroeste

Cultivos en la zona: rotación entre maíz y haba. Se reporta una antigüedad de cultivo que va de 20 hasta 50 años. Se usa fertilizante.

##### Descripción física de la muestra en:

##### Bosque:

0.5-0 Hojarasca de pino y gramíneas

0-35 Color en seco pardo muy oscuro 10YR2/2, en húmedo negro 10YR2/1. Raíces abundantes, que van disminuyendo con la profundidad. El suelo es muy presenta una textura de talco.

##### Agricultura:

0-25 Café, grisáceo muy oscuro 10YR3/2, en húmedo color negro 10YR2/1, pocas raíces, suelo compacto, los terrones rompen fácilmente

25-35 Café grisáceo ligeramente más oscuro 10YR2/1, pocas raíces, suelo suave, los terrones rompen fácilmente.

##### Sitio forestal 2Pf y Sitio agrícola 2Pa.

Localización: Ejido de Miguel Hidalgo, Tlachichuca.

Altitud: 3460 m

Fisiografía y pendiente: Ladera alta (25°). Orientación Suroeste a Oeste.

Cultivos en la zona: Hace 40 años se comenzó a sembrar papa, pero hace aproximadamente 6 a 10 años se siembra avena.

##### Descripción física de la muestra en:

##### Bosque:

0.3-0 Hojarasca de pino y gramíneas

0-35 Color gris pardo claro 10YR4/2, en húmedo negro 10YR2/1, con abundantes raíces que van disminuyendo conforme aumenta la profundidad, sin agregados.

##### Agricultura:

0-35 Color en seco café-amarillento 10YR5/4 y en húmedo café amarillento oscuro, no hay raíces, no se presentan agregados.

##### Sitio forestal 3Pf y Sitio agrícola 3Pa.

Localización: Comunidad La Jícara

Altitud: 3200 m

Fisiografía y pendiente: Ladera baja (6-9°). Orientación Oeste.

Cultivos en la zona: Existe una rotación entre haba y papa. Se usa fertilizante (urea) a la papa e insecticida a los dos cultivos.

Observaciones: Bosque presenta un alto grado de perturbación, pastoreo, apisonamiento, derribo de árboles. El sitio agrícola es un cultivo de rotación haba-papa dentro de un pequeño bosque, por lo tanto tiene un porcentaje alto de sombra.

##### Descripción física de la muestra en:

##### Bosque:

0.4-0 Hojarasca de pino y gramíneas

0-12 Color en seco es café 10YR5/3 y en húmedo café oscuro 10YR3/3, con restos de materia orgánica, raíces finas y muchas. El suelo presenta una ligera compactación.

12-35 Color café 10YR5/3, más compacto, el número de raíces disminuye, pero aumenta el diámetro de éstas.

##### Agricultura:

0-35 Color en seco café amarillento 10YR5/4, y en húmedo café amarillo oscuro 10YR3/6 oscuro, con concreciones de color ligeramente más claro. Se presentan pocas raíces y presenta cierto grado de compactación. Estructura angular que rompe de fina a muy fina.

Sitio forestal 4Pf y Sitio agrícola 4Pa.

Localización: Bosques conocidos como Máquina Vieja, pertenecientes a Zoapan.

Altitud: 3100 m

Fisiografía y pendiente: Pie de monte bajo (2-4°). Orientación Sur-Oeste .

Cultivos en la zona: Cultivos de aproximadamente 20 años de antigüedad, rotación entre trigo-papa y maíz-haba.

Descripción física de la muestra en:Bosque:

2-0 Hojarasca de pino y gramíneas

0-10 Color en seco es café gris oscuro 10YR4/2 y en húmedo es negro 10YR2/1, con muchas raíces muy finas.

10-35 Color en seco es café gris oscuro 10YR4/2 y en húmedo es negro 10YR2/1, menor número de raíces conforme aumenta la profundidad. Estructura granular, con cierta porosidad.

Agricultura:

0-35 Color en seco es café gris oscuro 10YR4/2 y en húmedo es negro 10YR2/1, presenta algunas raíces muy finas. Tiene una estructura granular y algunas angulares que rompen de fino a muy fino.

**2. Sitios en Bosque Mixto**

La vegetación arbórea que agrupa a estos sitios es la de mayor diversidad de coníferas ya que podemos encontrar juntos a *Pinus pseudostrobus* var *aoaxacana*, *P. rudis*, *P. teocote*, *P. hartwegii*, *P. herrerae*, algunas especies del encino como *Quercus rugosa* y *Q. laeta*., el cedro *Juniperus deppeana* y yucas de la especie *Nolina parviflora*.

Sitio forestal 5Mf y Sitio agrícola 5Ma.

Localización: Al suroeste del poblado de San Miguel Zoapan

Altitud: 2950-3000 m

Fisiografía y pendiente: Pie de monte bajo (3-6°). Orientación: Este.

Cultivos en la zona: Se cultiva desde hace 30 años primero con maíz y hace 10 años una rotación entre maíz y haba.

Observaciones: La zona presenta alta pedregosidad (20% aproximadamente), por lo que hay cultivos abandonados y poco pastoreo que permite la existencia de pequeñas áreas con regeneración.

Descripción física de la muestra en:Bosque:

0.4-0 Hojarasca de pino y quercus

0-35 Color en seco es café gris oscuro 10YR4/2 y en húmedo es negro 10YR2/1, con alta pedregosidad, textura arenosa. Pocas raíces finas y muchas mayores de 2mm teniendo su máximo en los primeros 15 cm. Ver figura 18.

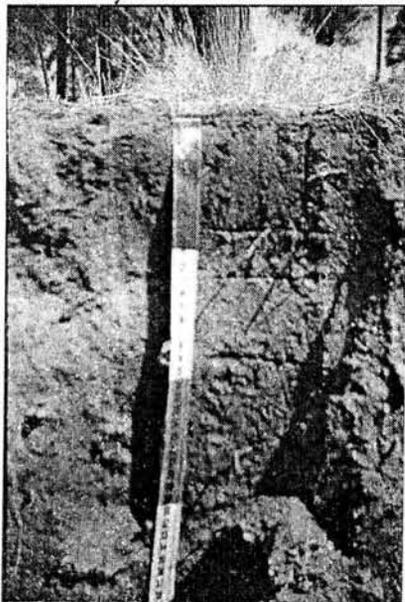


Figura 18. Perfil del sitio bosque de pino 5.

Agricultura:

0-35 Color en seco es café grisáceo muy oscuro gris obscuro 10YR3/2 y en húmedo es gris muy oscuro 10YR3/1, con una pedregosidad del 10%. Es de textura arenosa. Estructura granular, que rompe de fino a muy fino.

Sitio forestal 6Pf y Sitio agrícola 6Ma.

Localización: Ejido de Paso Nacional.

Altitud: 2900-3000 m

Fisiografía y pendiente: Lomerio (12-14°). Orientación Este.

Cultivos en la zona: Se cultivas desde hace más de 40 años, últimamente rotación entre haba y gramíneas (maíz y avena).

Descripción física de la muestra en:Bosque:

0.3-0 Hojarasca de pino y gramíneas

0-35 Color en seco es café amarillo claro 10YR6/4, y en húmedo es café oscuro 10YR3/3, con alta densidad de raíces mayores de 2mm de gramíneas, que van disminuyendo en número al aumentar la profundidad, de textura arcillosa. Estructura granular muy fina.

Agricultura:

0-35 Color en seco es café amarillento 10YR5/6 y en húmedo es café amarillo oscuro 10YR3/4, de textura arcillosa. Pocas raíces muy finas. Estructura ligeramente granular.

Sitio forestal 7Mf y Sitio agrícola 7Ma.

Localización: Ejido de Paso Nacional.

Altitud: 2990-3020 m

Fisiografía y pendiente: Lomerio (10°-12°). Orientación Sur-sureste.

Cultivos en la zona: Rotación entre maíz y haba.

Descripción física de la muestra en:Bosque:

2-0 Hojarasca de pino, Quercus.

0-35 Color en seco es café grisáceo muy oscuro 10YR3/2 y en húmedo es negro /1. Muchas raíces finas, presentando el máximo entre los 10-30 cm. Suelo poroso y de estructura granular

Agricultura:

0-35 Color en seco es café gris oscuro 10YR4/2 y en húmedo es negro 10YR2/1. Suelo que presenta pedregosidad de aproximadamente 5%. Muchas raíces finas en toda la muestra.

**3. Sitios en Bosque de Oyamel**

La vegetación dominante es el bosque de oyamel, Abies religiosa acompañados de otras coníferas como *Pinus montezumae* y *P. hartwegii*.

Sitio forestal 8Of y Sitio agrícola 8Oa.

Localización: Camino a la comunidad de Miguel Hidalgo

Altitud: 3350 m

Fisiografía y pendiente: Ladera alta inclinada (30°). Orientación: Suroeste.

Cultivos en la zona: Suelos de aproximadamente 20 años de cultivo, comenzando con papa y hace pocos años se siembra haba.

Descripción física de la muestra en:Bosque:

0.7-0 Hojarasca de oyamel y gramíneas

0-35 Color en seco es café amarillo claro 10YR6/4 y en húmedo es negro 10YR2/1, con pocas raíces, algunas concreciones de color más claro. Estructura granular que rompe de fino a muy fino.

Agricultura:

0-35 Color en seco es café amarillento 10YR5/4 y en húmedo es café grisáceo muy oscuro 10YR3/2, ligeramente oscuro, suelo compacto, agregados subangulares finos.

Sitio forestal 9Of y Sitio agrícola 9Oa.

Localización: La Jícara

Altitud: 3400 m

Fisiografía y pendiente: Ladera alta inclinada (28°). Orientación: Suroeste .

Cultivos en la zona: Suelos de aproximadamente 20 años de cultivo, comenzando con papa y hace 6 años rotación papa-haba.

Descripción física de la muestra en:

Bosque:

0.7-0 Hojarasca de oyamel y otras plantas

0-35 Color en seco es café 10YR4/3 y en húmedo es pardo muy oscuro 10YR2/2, con pocas raíces que tienen su máximo entre los 10 y 20 cm. También presenta algunas concreciones de color más claro es de color más claro. Estructura granular que rompe de fino a muy fino.

Agricultura:

0-35 Color en seco es café amarillento 10YR5/4 y en húmedo es café amarillo oscuro 10YR3/4. Presenta muchas raíces finas que van disminuyendo al aumentar la profundidad, suelo compacto, textura arcillosa y estructura granular fina.

Sitio forestal 100f y Sitio agrícola 100a.

Localización: El Cajón

Altitud: 3250 m

Fisiografía y pendiente: Ladera alta inclinada (30°). Orientación: Sur

Cultivos en la zona: son cultivos muy recientes (8-9 años) que principalmente es rotación de haba -papa.

Descripción física de la muestra en:

Bosque:

0.7-0 Hojarasca de Abies y gramíneas amacolladas

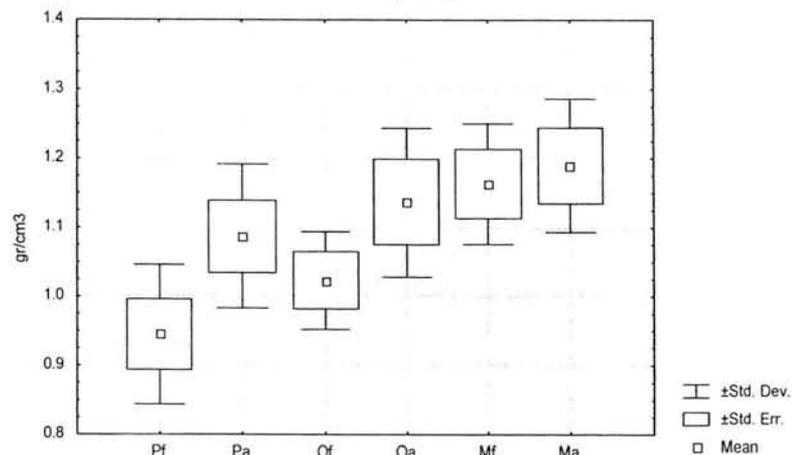
0-35 Color en seco es café gris oscuro 10YR4/2 y en húmedo es pardo muy oscuro 10YR2/2, con pocas raíces gruesas, estructura granular que rompe de fino a muy fino.

Agricultura:

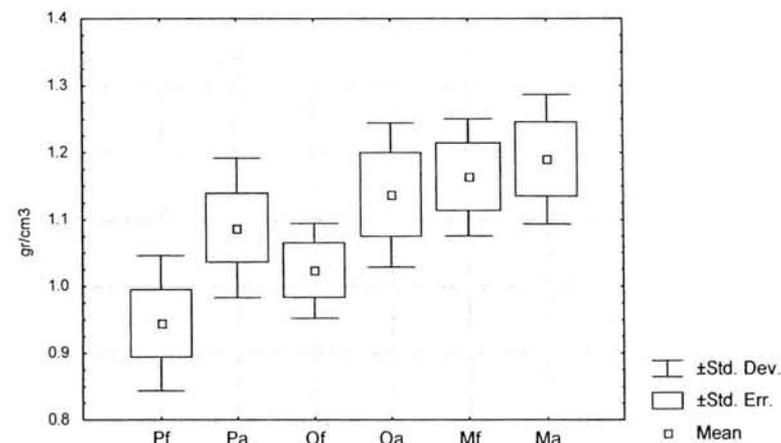
0-35 Color en seco es café 10YR4/3 y en húmedo es gris muy oscuro 10YR3/1,, suelo compacto, agregados subangulares que rompen a fino.

**Anexo 4.** Gráficas que muestran la media, desviación estándar y error estándar de algunos de los parámetros físicos y químicos que se midieron en los suelos del Citlaltépetl, Puebla.

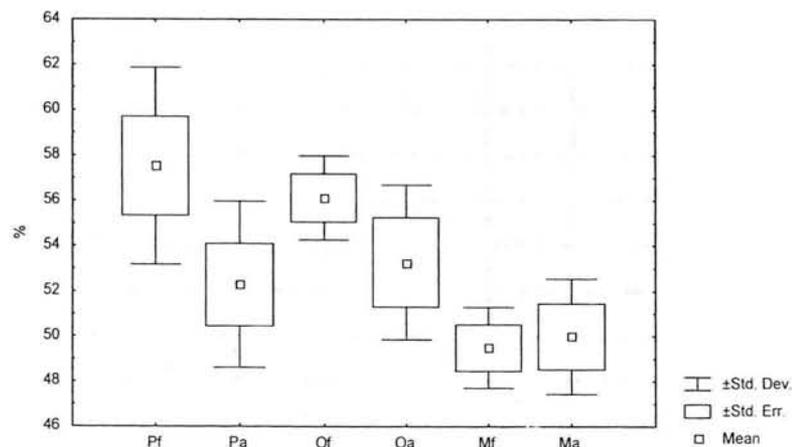
Gráfica 1. Densidad aparente



Gráfica 2. Densidad real

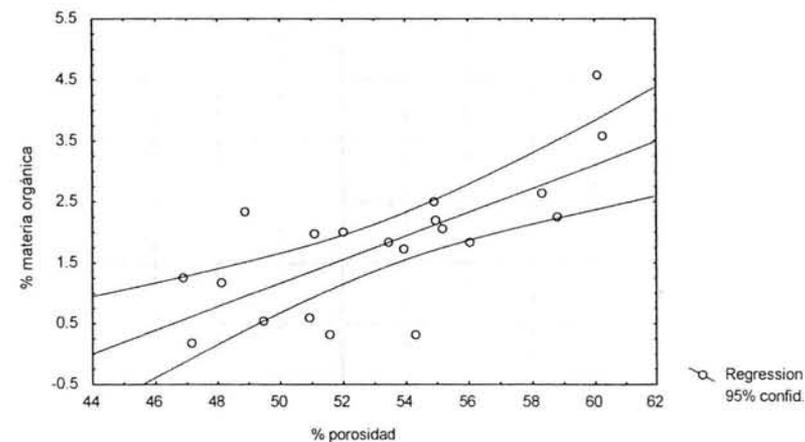


Gráfica 3. Porosidad

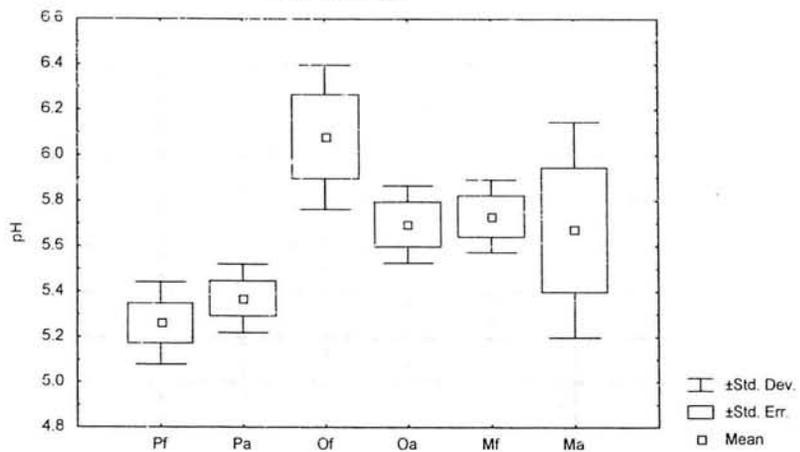


Gráfica 4. Porosidad vs. Materia Orgánica

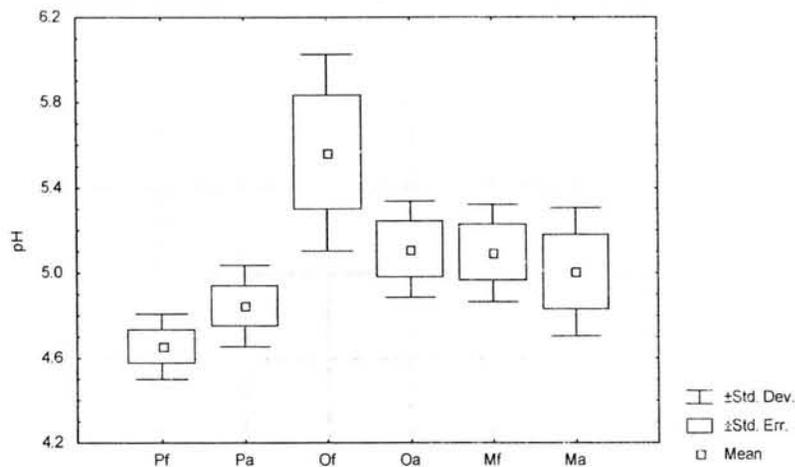
Correlación:  $r = .71733$



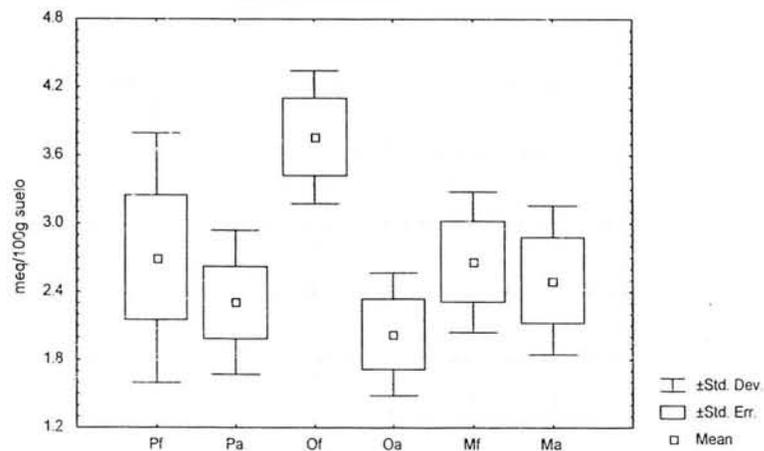
Gráfica 5. pH (agua)



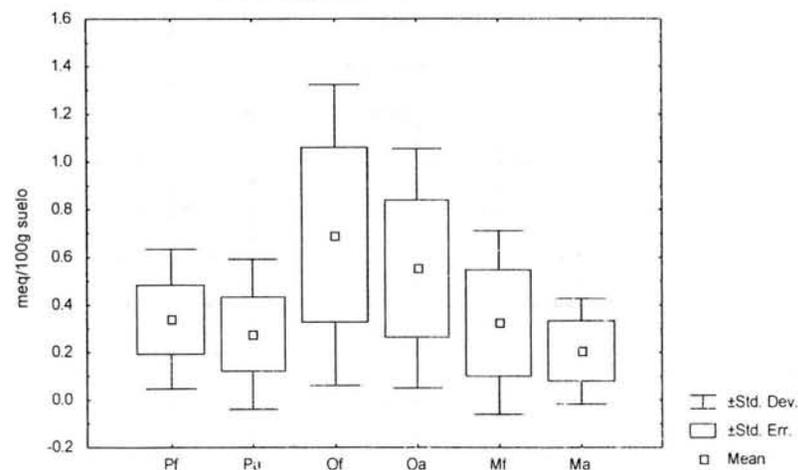
Gráfica 2. pH (KCl)



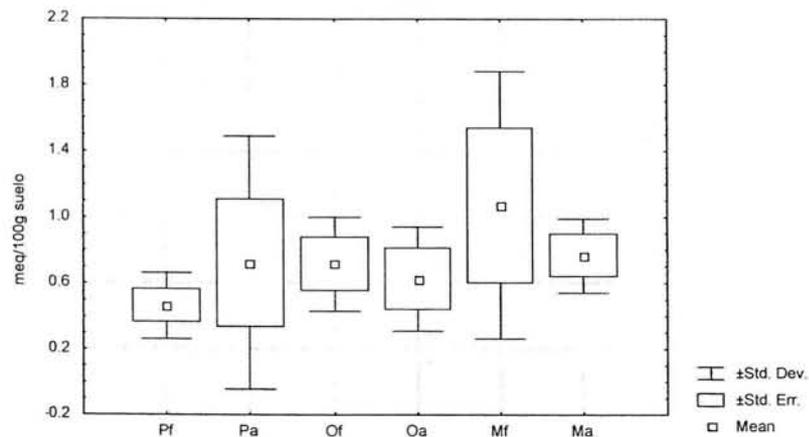
Gráfica 7. Calcio intercambiable



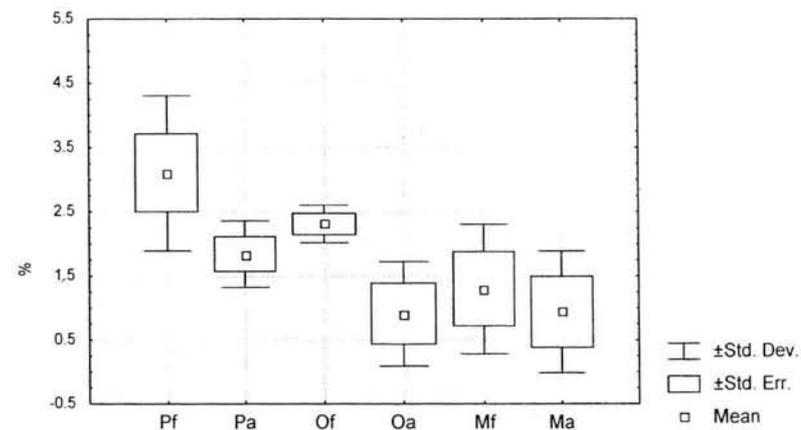
Gráfica 8. Magnesio intercambiable



Gráfica 9. Potasio intercambiable

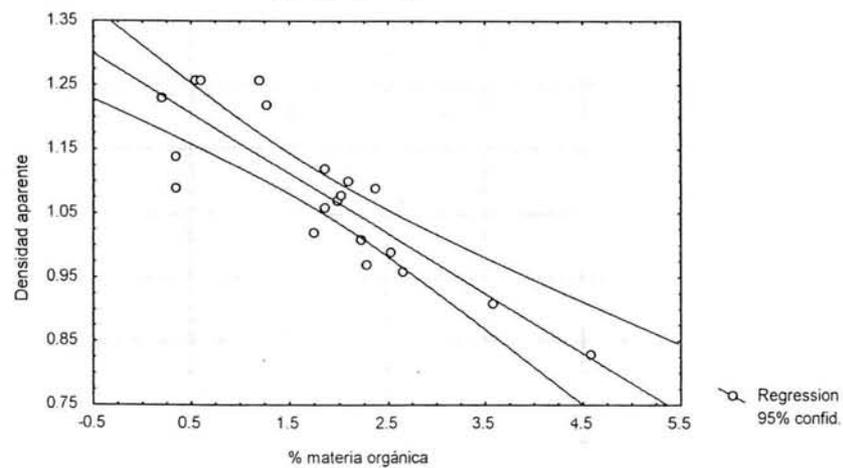


Gráfica 10. Materia orgánica

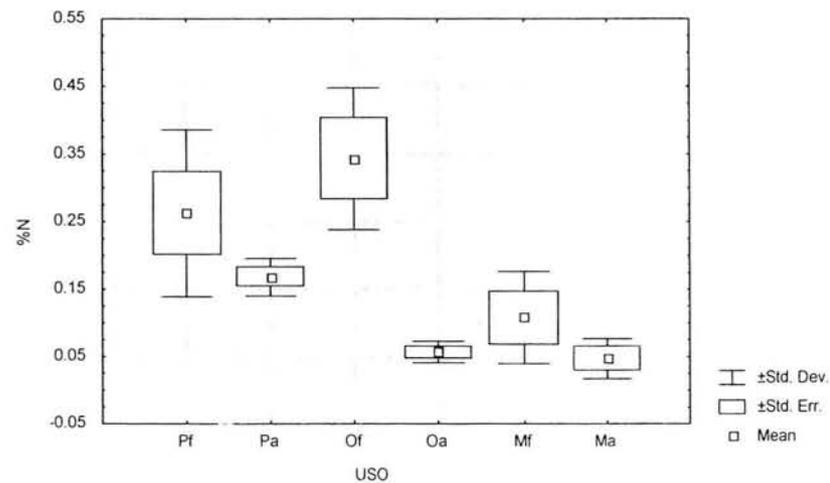


Gráfica 11. Materia orgánica vs. Densidad aparente

Correlación:  $r = -.8581$



Gráfica 12. Porcentaje de Nitrógeno



## Anexo 5

Tabla de presencia o ausencia de especies vegetales encontradas en los diferentes sitios agrícolas y forestales (Pino, mixto y oyamel) muestreados en el Pico de Orizaba, Tlaxichuca, Puebla.

Especies vegetales	SITIOS DE TIPO FORESTAL										SITIOS DE TIPO AGRICOLA									
	Pino			Mixto			Oyamel				10 Of	Pino			Mixto			Oyamel		
	1Pf	2Pf	3Pf	4Pf	5Mf	6Mf	7Mf	8Of	9Of	1A		2P	3P	4P	5M	6M	7M	8O	9O	10 Oa
<i>Abies religiosa</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Alnus jorulensis</i>	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Juniperus depeana</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Nolina parviflora</i>	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Pinus hartwegii</i>	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Pinus montezumae</i>	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Pinus oaxacana</i>	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Pinus pseudostrobus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Pinus rudis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Pinus teocote</i>	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Quercus laetae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Quercus spp.</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Oxylobus arbustifolius</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Pernettya ciliata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Agrostis ghiesbreghtii</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Alchemilla procumbens</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Arenaria lycopodioides</i>	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Bidens ferulifolia</i>	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Bidens odorata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Bidens triplinervia</i>	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Brachycome mexicana</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Brickellia spp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Cirsium spp</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Echinosperrum mexicanum</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Eupatorium pazcuarensis</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Eupatorium schaffneri</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Fetisca toluensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Halenia plantaginea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Hetherotheca inuloides</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Lupinus montanus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Mulhenbergia mocroura</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Nasella tenuis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Oxalis alpina</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Penstemon spp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Penstemon getianoides</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Phacelia plathycarpa</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Ranunculus geoides</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

---

<i>Ranunculus peruvians</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sabazia multiradiata</i>	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Senecio spp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Stellaria cuspidata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Stevia incognita</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Stevia jorullensis</i>	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Stevia monardifolia</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Stipa spp</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Solanum tuberosum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1
<i>Vicia faba</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Zea mays</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0
<i>Hordeum vulgare</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Avena sativa</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Triticum aestivum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0