

# CARACTERIZACIÓN EDÁFICA DE SITIOS CON REGENERACIÓN NATURAL DE *Pinus montezumae* Lamb. EN EL VOLCÁN LA MALINCHE, MÉXICO

## EDAFIC CHARACTERIZATION OF SITES WITH NATURAL REGENERATION OF *Pinus montezumae* Lamb., IN THE LA MALINCHE VOLCANO, MÉXICO

Gilberto Vela-Correa<sup>1</sup>, Blanca E. Vázquez-Martínez<sup>1</sup>, Ma. de Lourdes Rodríguez-Gamiño<sup>2</sup> e Irma V. Domínguez-Rubio<sup>†</sup>

<sup>1</sup>Departamento El Hombre y su Ambiente. Laboratorio de Edafología. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. 04960. Calzada del Hueso 1100. Colonia Villa Quietud, Coyoacán, México, Distrito Federal. (gvela@correo.xoc.uam.mx) (vm\_blanca@hotmail.com). <sup>2</sup>Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 04510. Ciudad Universitaria. México, Distrito Federal. (lulugamino@correo.unam.mx)

### RESUMEN

La regeneración vegetal natural se lleva a cabo en sitios donde las condiciones edafoclimáticas son adecuadas para desencadenar la germinación y puedan establecerse las nuevas plántulas que ocuparán el lugar de los árboles al alcanzar su límite de vida. Los objetivos de este trabajo fueron cuantificar la población natural de renuevos de *Pinus montezumae* Lamb., y determinar las propiedades físicas y químicas en los suelos de cinco sitios en La Malinche, México. Por sus características físicas y químicas, los suelos de los sitios estudiados son muy similares, ya que se formaron a partir del intemperismo de cenizas volcánicas, por lo que presentan una secuencia de evolución A/C; tienen una estructura poliédrica subangular, débilmente desarrollada; con abundantes raíces; su densidad aparente y real permiten el intercambio adecuado de aire y la absorción de nutrientes. Dominan las texturas areno-migajosas en los horizontes superficiales, los cuales presentan un pH muy ácido, son ricos en MO, con una CIC media y una saturación de bases mayor a 50%, dominada por Ca<sup>2+</sup>. Los sitios entre 3000 a 3200 m con orientación al N tuvieron 58% de la población de renuevos de *P. montezumae* Lamb., donde predominan los que tienen un tamaño de 1.50 a 2.50 m. En los sitios donde la altitud es mayor a 3200 m disminuyó notablemente la población de *P. montezumae* Lamb., llegando a 7% del total, con una altura de 8 a 12 m, los de mayor tamaño. Por lo anterior, se considera que la altitud y la temperatura son los factores principales que determinan la presencia de renuevos. El arbolado padre presenta las condiciones adecuadas para liberar semillas y propiciar la continuidad de la masa forestal, aunque disminuye su número en altitudes mayores a los 3000 m, debido a la tala clandestina e incendios. Además es común un sotobosque constituido por *Muhlenbergia macroura* (HBK.), *Stipa ichu* (Ruiz & Pav) Kunth., y *Lupinus elegans* HBK., las cuales se consideran indicadoras de estas actividades.

**Palabras clave:** Andosoles, regeneración de pinos, suelos forestales, Tlaxcala.

Recibido: Marzo, 2006. Aprobado: Enero, 2007.  
Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 41: 371-383. 2007.

### ABSTRACT

Natural plant regeneration occurs in sites where the edafoclimatic conditions are adequate for initiating germination and where new seedlings can be established that will occupy the place of the trees when they reach their lifespan limit. The objectives of the present study were to quantify the natural population of seedlings of *Pinus montezumae* Lamb., and to determine the physical and chemical properties in the soils of five sites in La Malinche, México. Because of their physical and chemical characteristics, the soils of the studied sites are very similar, as they form from the weathering of volcanic ash, thus they present an A/C evolution sequence; they have a subangular polyhedral structure, are weakly developed; with abundant roots; the bulk and particle density permit the adequate exchange of air and nutrient absorption. There is predominance of sandy-lumpy textures in the superficial horizons, which present a very acid pH, they are rich in OM, with a mean CEC and a saturation of bases of over 50%, dominated by Ca<sup>2+</sup>. The sites between 3000 to 3200 m with orientation to the N had 58% of the seedling population of *P. montezumae* Lamb., in which there is predominance of those with a size of 1.50 to 2.50 m. In the sites where the altitude is greater than 3200 m, the population of *P. montezumae* Lamb., decreased notably, reaching 7% of the total, with a height of 8 to 12 m, those of greatest size. Therefore, it is considered that altitude and temperature are the principal factors that determine the presence of seedlings. The parent trees present conditions adequate for releasing seeds and propitiating the continuity of the forest mass, although their number decreases in altitudes of over 3000 m, due to the clandestine felling of trees and forest fires. An understory comprised of *Muhlenbergia macroura* (HBK.), *Stipa ichu* (Ruiz & Pav) Kunth., and *Lupinus elegans* HBK. is also common, which are considered indicators of these activities.

**Key words:** Andosol, regeneration of pines, forest soils, Tlaxcala.

### INTRODUCTION

Forests can regenerate themselves in their natural state, however, the periods for producing a mature forest vary from 35 to more than 100

## INTRODUCCIÓN

Los bosques en su estado natural pueden regenerarse por sí solos, sin embargo los períodos para producir un bosque maduro varían de 35 hasta más de 100 años, según el tipo de bosque y las especies que lo componen. La regeneración natural se inicia cuando las semillas diseminadas y depositadas por los árboles adultos encuentran un sitio donde las condiciones edafoclimáticas son adecuadas para desencadenar la germinación y establecer las nuevas plántulas, mismas que ocuparán el lugar de los árboles que mueran al alcanzar su límite de vida (SEP, 1982).

En México se realizan prácticas silvícolas para promover la regeneración natural de los bosques a través de la corta selectiva empleando el método de árboles padres, con el que se llegan a producir hasta 540 árboles  $\text{ha}^{-1}$ . Sin embargo, en ocasiones se recurre a la reforestación, donde sólo se interviene en el proceso cuando es necesario proteger la renovación del arbolado de los propios disturbios que afectan el establecimiento de la masa forestal. Además, el número de árboles padres a dejar se determina empíricamente, ya que en la mayoría de los casos no se conocen las características autoecológicas de las especies que determinan su grado de respuesta, para el establecimiento y repoblación natural (Chacón-Sotelo *et al.*, 1998).

La Malinche es una de las zonas naturales más boscosas del Estado de Tlaxcala, pero a pesar de estar legalmente protegida su superficie forestal se ha reducido y han aumentado las áreas de cultivo en sus laderas, siendo las principales causas de su deterioro los incendios, la tala clandestina y en menor grado el pastoreo y el desmonte (Acosta, 1992). En esta zona, en 1936 habían 30 000 ha forestales que se han reducido a 15 000 ha, y de éstas 77% de su vegetación presenta algún tipo de deterioro (Espejel y Carrasco, 1999). Por lo anterior y debido a la importancia que representa la continuidad de los bosques, los objetivos de esta investigación fueron: 1) relacionar la población de árboles y renuevos de *Pinus montezumae* Lamb., con las características del suelo; 2) identificar los sitios con mayor cantidad de renuevos de *P. montezumae* Lamb.; 3) determinar el estado físico de los árboles padres en cada sitio con regeneración natural. Lo anterior, con el fin de contar con información que sirva de base para elaborar planes de manejo para la zona de estudio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación de la zona de estudio

El volcán La Malinche se localiza entre los Estados de Tlaxcala y Puebla y ocupa una superficie de 45 711 ha (Figura 1) con un

years, according to the type of forest and the species that comprise it. Natural regeneration begins when the seeds disseminated and deposited by the adult trees find a site where the edafo-climatic conditions are adequate for start of germination and the establishment of the new seedlings, which will take the place of the trees that die upon reaching the limit of their lifespan (SEP, 1982).

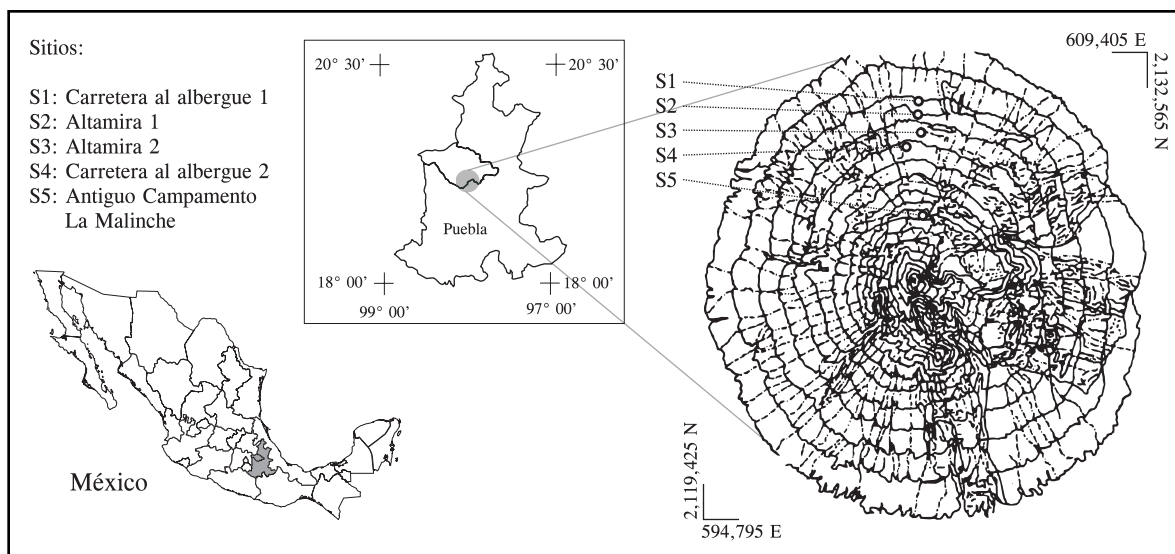
In México, forestry practices are being carried out for promoting the natural regeneration of the forests through selective felling using the parent tree method, with which up to 540 trees  $\text{ha}^{-1}$  are produced. However, at times reforestation is applied, where there is intervention in the process only when it is necessary to protect the renovation of the trees from the same disturbances that affect the establishment of the forest mass. Furthermore, the number of parent trees to be left is determined empirically, given that in most cases the auto-ecological characteristics of the species that determine their degree of response for natural establishment and repopulation are unknown (Chacón-Sotelo *et al.*, 1998).

La Malinche is one of the most heavily forested natural areas of the State of Tlaxcala, but although legally protected, its forest surface has been reduced and the areas of cultivation on its slopes have increased. The principal causes of its deterioration are fires, clandestine felling, and to a lesser degree, grazing and clearing (Acosta, 1992). In this zone, in 1936 there were 30 000 ha of forest, which have been reduced to 15 000 ha, and of these, 77% of the vegetation presents some type of deterioration (Espejel and Carrasco, 1999). Due to the above and the importance that the continuity of the forests represents, the objectives of the present study were: 1) to relate the population of trees and new seedlings of *Pinus montezumae* Lamb., with the characteristics of the soil; 2) to identify the sites with the greatest amount of new seedlings of *P. montezumae* Lamb.; 3) to determine the physical state of the parent trees in each site with natural regeneration. The purpose of the above is to provide information that will serve as a base for the elaboration of management plans for the area of study.

## MATERIALS AND METHODS

### Location of the zone of study

The La Malinche volcano is located between the States of Tlaxcala and Puebla, and occupies a surface of 45 711 ha (Figure 1) with an altitudinal interval of 2400 to 4420 m, located between the coordinates 2132565N - 609405E and 2119425N - 594795E (IG, 1991). Its conformation resembles a stooping woman, the distribution of the pines in the lower part look like a skirt; its summit



**Figura 1. Localización del volcán La Malinche y de sitios de muestreo.**  
**Figure 1. Location of the La Malinche volcano and the sampling sites.**

intervalo altitudinal de 2400 a 4420 m, ubicándose entre las coordenadas 2132565N - 609405E y 2119425N - 594795E (IG, 1991). Su conformación asemeja a una mujer encorvada, la distribución de los pinares en la parte baja aparenta una falda; su cima tiene forma de cresta dentada con varios picos, su parte más alta se cubre de nieve en invierno y sus laderas están surcadas de profundas barrancas que radian de su cima cubiertas en parte por bosques de coníferas y parcelas agrícolas (SARH, 1993; Vargas, 1997).

Este volcán se formó entre el Mioceno y Plioceno en el Terciario y litológicamente está constituido por rocas ígneas extrusivas, bajo tobas andesíticas ricas en anfíbolita, que se componen de ceniza gris oscura y pómez, así como detritus de materia orgánica y material de morrenas de color gris y violeta (Vargas, 1997).

El clima varía de acuerdo con los diversos pisos altitudinales, si se considera que se trabajó entre 2700 a 3500 m; la temperatura, duración de la época de lluvias y precipitación media anual, corresponden a un clima C(E)w semifrío subhúmedo con lluvias en verano, con una temperatura media anual de 11 °C y una precipitación anual de 400 a 800 mm, condiciones favorables para el desarrollo del bosque de *Quercus* sp., y *Pinus* sp., (SARH, 1993; Vargas, 1997).

La zona boscosa tiene una baja densidad de árboles en pie con menos de 400 árboles ha<sup>-1</sup> de todas las edades y tallas, una alta densidad de tocones no cuantificados, así como una cantidad considerable de árboles dañados que deben ser derribados y aprovechados. Además se observan otros signos de alteración que incluyen un significativo número de arbustos y la gran cantidad de pastizales en las orillas de los caminos principales (Chávez *et al.*, 1990).

**Trabajo en campo y laboratorio**

Se analizó la información documental y las cartas temáticas elaboradas por el DETENAL (1980) a escala 1:50 000. Se adquirieron las fotografías aéreas pancromáticas en blanco y negro (escala 1:35

has the form of a dented crest with various peaks, the highest part is covered with snow in winter and its slopes are furrowed with deep ravines that radiate from the peak, partially covered by coniferous forests and agricultural plots (SARH, 1993; Vargas, 1997).

This volcano was formed between the Pliocene in the Tertiary Period and is lithologically comprised of extrusive igneous rocks, under andesitic ashes rich in amphibolite, which are composed of dark gray ash and pumice, along with detritus of organic matter and material of gray and violet colored morrenas (Vargas, 1997).

The climate varies according to the diverse altitudinal floors, if it is considered that the work was carried out between 2700 and 3500 m; the temperature, duration of the rainy season and mean annual precipitation, correspond to a C(E)w semicold subhumid climate with rains in summer, with a mean annual temperature of 11 °C and an annual precipitation of 400 to 800 mm, conditions which are favourable for the development of the forest of *Quercus* sp., and *Pinus* sp. (SARH, 1993; Vargas, 1997).

The forest areas has a low density of standing trees with less than 400 trees ha<sup>-1</sup> of all ages and sizes, a high density of unquantified tree stumps, along with a considerable number of damaged trees that should be felled and used. In addition, other signs of alteration are observed that include a significant number of shrubs and a great amount of pastures at the edges of the main roads (Chávez *et al.*, 1990).

**Field and laboratory work**

An analysis was made of the documentary information and the thematic charts made by DETENAL (1980) at a scale of 1:50 000. The panchromatic aerial photographs were acquired in black and white (scale 1:35 000 and 1:70 000) of the flight made by INEGI (1998), and in these the sites were located for the sampling of soils and vegetation, which were verified with diverse rounds in the field. Five sites were selected with natural regeneration of *P.*

000 y 1:70 000) del vuelo realizado por INEGI (1998) y en ellas se ubicaron los sitios para el muestreo de suelos y vegetación, los que fueron verificados con diversos recorridos en campo. Se seleccionaron cinco sitios con regeneración natural de *P. montezumae* Lamb., considerados representativos de las zonas donde existía una mayor cobertura vegetal. Los sitios fueron: a) carretera al albergue 1; b) Altamira 1; c) Altamira 2; d) carretera al albergue 2; e) antiguo campamento La Malinche (Figura 1).

La toma de datos del suelo y vegetación se hizo de 2900 a 3600 m donde la cantidad de renuevos era mayor y se apreciaba un menor grado de perturbación por aclareo, tala o quema. En cada sitio se tomaron los siguientes datos: fecha, localidad, altitud, orientación, geoforma, relieve, drenaje superficial y pendiente. Se describieron morfológicamente cinco perfiles de suelos con base en Schoeneberger *et al.* (2002) y la designación de horizontes se hizo según Soil Survey Staff (1999). Después se tomó una muestra de 1.5 kg de suelo por horizonte para su análisis en laboratorio.

En cuanto a la vegetación, se tomaron datos del estrato arbóreo, herbáceo y de la regeneración natural de *P. montezumae* Lamb., para lo cual se trazaron cuadrantes de 20 m por lado donde se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura de los árboles (AT). Para determinar la edad del arbolado mediante el conteo de los anillos de crecimiento, se utilizó un taladro de Pressler. Para calcular los renuevos de *P. montezumae* Lamb., se contaron los renuevos y se midió su altura, considerando siete categorías por tamaño: Clase I (0-0.49 m), II (0.50-1.49 m), III (1.50-2.49 m), IV (2.50-3.49 m), V (3.50-4.99 m), VI (5.00-7.99 m) y VII (8.00-12.00 m). Para determinar el número de especies, abundancia y dominancia según el índice de Braun-Blanquet (Madrigal, 1967), en el estrato herbáceo se trazaron cuadrantes de 5 m por lado, dentro de los cuadrantes del estrato arbóreo.

Los análisis físicos de suelos fueron color en seco y húmedo, densidad aparente, densidad real y la textura, según la Norma Oficial Mexicana 021 (SEMARNAT, 2002), y la porosidad por el método Baver *et al.* (1981). Los análisis químicos fueron pH por medio del potenciómetro con electrodo de vidrio utilizando una relación 1:2.5 de suelo y agua; la materia orgánica (MO), la capacidad de intercambio catiónico (CIC), el análisis cuantitativo de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  y el  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  intercambiables se midieron de acuerdo con SEMARNAT (2002).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Características físicas y químicas de los suelos

Los suelos de los cinco sitios estudiados (Cuadro 1) son poco diferenciados entre sí y, de acuerdo con FAO-ISRIC-SICS (1999), son Andosoles mólicos y debido a que los perfiles presentan una secuencia de horizontes AC se consideran de origen reciente, lo que es común en suelos volcánicos originados a partir de cenizas y lapillis que cubrieron coladas de lava de tipo andesítico (Shoji *et al.*, 1993). Los sitios 1, 2, 4 y 5 son suelos con una profundidad normal (50 a 100

*montezumae* Lamb., considered representative of the zones where there is a greater cover of vegetation. The sites were: a) road to shelter 1; b) Altamira 1; c) Altamira 2; d) road to shelter 2; e) old La Malinche campsite (Figure 1).

The taking of data of the soil and vegetation was made from 2900 to 3600 m, where the amount of new seedlings was greater and there was a lesser degree observed of disturbance from clearing, tree felling or fire. In each site the following data were taken; date, locality, altitude, orientation, geoform, relief, surface drainage and slope. A morphological description was made of five soil profiles based on Schoeneberger *et al.* (2002) and the designation of horizons was made according to the Soil Survey Staff (1999). Next, a sample was taken of 1.5 kg of soil per horizon for laboratory analysis.

With respect to vegetation, data were taken from the arboreal, herbaceous and natural regeneration strata of *P. montezumae* Lamb., for which squares measuring 20 m×20 m were delineated, where the diameter was measured at chest height (DAP) along with tree height (AT). To determine the age of the trees by means of counting the growth rings, a Pressler drill was used. To calculate the new seedlings of *P. montezumae* Lamb., the new seedlings were counted and their height was measured, considering six categories according to size: Class I (0-0.49 m), II (0.50-1.49 m), III (1.50-2.49 m), IV (2.50-3.49 m), V (3.50-4.99 m), VI (5.00-7.99 m) and VII (8.00-12.00 m). To determine the number of species, abundance and dominance according to the Braun-Blanquet index (Madrigal, 1967), in the herbaceous stratus squares measuring 5 m×5 m were drawn, within the squares of the arboreal stratus.

The physical soil analyses were dry and wet color, bulk density, particle density and texture, according to the Norma Oficial Mexicana 021 (SEMARNAT, 2002), and porosity through the method of Baver *et al.* (1981). The chemical analyses were pH by means of the potentiometer with glass electrode using a proportion of 1:2:5 of soil and water; the organic matter (OM), the cationic exchange capacity (CEC), the quantitative analysis of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  and exchangeable  $\text{Na}^+$  and  $\text{K}^+$  were measured according to SEMARNAT (2002).

## RESULTS AND DISCUSSION

### Physical and chemical soil characteristics

The soils of the five sites studied (Table 1) differ little from each other, and, according to FAO-ISRIC-SICS (1999), are mollic andosol and due to the fact that the profiles present a sequence of AC horizons, are considered to be of recent origin, which is common in volcanic soils originating from ash and lapillis that were covered by andesitic type lava flows (Shoji *et al.*, 1993). Sites 1, 2, 4 and 5 are soils with a normal depth (50 to 100 cm), whereas site 3 is a soil of medium depth (<50 cm) according to Schoeneberger *et al.* (2002). Due to the constant contributions of OM from the vegetation of the site, there is predominance of dark colors with a value of 5 or less, dark brown being

**Cuadro 1. Características morfológicas de los suelos del volcán La Malinche.**  
**Table 1. Morphological characteristics of the soils of the La Malinche volcano.**

| Prof.<br>cm  | Hz  | Color     |          | Estructura<br>(tipo: desarrollo) | Consistencia   | Raíces             |
|--|-----|-----------|----------|----------------------------------|----------------|--------------------|
|  |     | seco      | húmedo   |                                  | (seco: húmedo) | (cantidad: tamaño) |
| Sitio 1. Carretera al albergue 1 (2061665N y 604945E)        |     |           |          |                                  |                |                    |
| 0-10   | A11 | 10YR 5/3  | 10YR 2/2 | Ps: dd                           | b, f           | A: f               |
| 10-30  | A12 | 10YR 6/4  | 10YR 4/3 | Ps: dd                           | b, f           | R: a               |
| 30-50  | C1  | 10YR 6/4  | 10YR 4/4 | Ps: dd                           | ld, f          | R: f, m            |
| 50-70  | C2  | 10YR 7/4  | 10YR 3/4 | ---                              | ld, f          | ---                |
| Sitio 2. Altamira 1. (2133106N y 604945E)                    |     |           |          |                                  |                |                    |
| 0-10   | A11 | 10YR 4/2  | 10YR 2/1 | G: dd                            | b, f           | A: f               |
| 10-23  | A12 | 10YR 4/2  | 10YR 2/2 | Ps: dd                           | b, f           | A: f               |
| 23-35  | A13 | 10YR 5/2  | 10YR 2/2 | Ps: dd                           | b, f           | A: f, g            |
| 35-49  | C1  | 10YR 5/3  | 10YR 3/3 | ---                              | ld, f          | P: g               |
| 49-70  | C2  | 10YR 6/4  | 10YR 3/6 | ---                              | ld, f          | ---                |
| Sitio 3. Altamira 2. (2133106N y 604945E)                    |     |           |          |                                  |                |                    |
| 0-10   | A11 | 10YR 4/2  | 10YR 2/1 | G: dd                            | b, f           | A: f               |
| 10-19  | A12 | 10YR 4/1  | 10YR 2/1 | G: dd                            | b, f           | A: f               |
| 19-34  | C1  | 10YR 5/2  | 10YR 2/2 | ---                              | ld, f          | A: f, m            |
| > 34   | C2  | 10YR 5/2  | 10YR 3/4 | ---                              | ld, f          | ---                |
| Sitio 4. Carretera al albergue 2. (2131363N y 608987E)       |     |           |          |                                  |                |                    |
| 0-12   | A11 | 10YR 4/2  | 10YR 2/2 | G: dd                            | b, f           | A: f               |
| 12-20  | A12 | 10YR 4/2  | 10YR 2/2 | Ps: dd                           | b, f           | A: f               |
| 20-32  | A13 | 10YR 5/4  | 10YR 3/3 | Ps: dd                           | b, f           | A: f               |
| 32-57  | C1  | 10YR 6/4  | 10YR 4/4 | ---                              | ld, f          | R: g               |
| > 57   | C2  | 10YR 7/4  | 10YR 5/6 | ---                              | ld, f          | R: g               |
| Sitio 5. Antiguo campamento La Malinche (2129427N y 601883E) |     |           |          |                                  |                |                    |
| 0-10   | A11 | 10YR 4/2  | 10YR 2/1 | Ps: dd                           | b, f           | A: f               |
| 10-30  | A12 | 10YR 4/2  | 10YR 2/1 | Ps: dd                           | b, f           | A: f, m            |
| 30-40  | A13 | 10YR 4/2  | 10YR 3/1 | Ps: dd                           | b, f           | A: f, m            |
| 40-55  | A14 | 10YR 4/ 2 | 10YR 3/1 | G: dd                            | b, f           | A: f, m            |
| 55-75  | C1  | 10YR 5/3  | 10YR 3/4 | G: dd                            | ld, f          | A: m, g            |
| 75-95  | C2  | 10YR 6/4  | 10YR 3/4 | ---                              | ld, f          | ---                |

Prof. = profundidad. Hz= horizonte. Estructura: Ps = poliédrica subangular; G = granular. Desarrollo: dd = débilmente desarrollada. Consistencia: b = blanda; ld = ligeramente dura; lp = ligeramente pegajosa; f = friable. Raíces: R = raras (3 a 5/3 dm<sup>2</sup>); P = pocas (5 a 10/3 dm<sup>2</sup>); A = abundantes (100 a 500/3 dm<sup>2</sup>). Tamaño: f = finas (<1 mm diámetro); m = medias (3 a 10 mm diámetro); g = gruesas (10 a 30 mm diámetro).

cm), mientras que el sitio 3 es un suelo de profundidad media (< 50 cm) de acuerdo con Schoeneberger *et al.* (2002). Debido a los aportes constantes de MO por la vegetación del lugar, predominan los colores oscuros con un valor de 5 o menos, siendo el más común el pardo oscuro (10YR 4/2), característico en suelos de origen volcánico (Shoji *et al.*, 1993) particularmente en los horizontes superficiales, donde la vegetación que predomina está compuesta por gramíneas. Los colores más claros como el pardo grisáceo 10YR 5/3 son más frecuentes en los horizontes inferiores como el C1 y C2, donde la presencia de compuestos orgánicos es escasa y dominan los componentes de origen mineral (Cuadro 1). Los agregados del suelo de los horizontes superiores presentan una estructura en bloques subangulares, débilmente desarrollada, principalmente en los sitios 1 y 5, mientras que es granular y débilmente

the most common (10YR 4/2), characteristic in soils of volcanic origin (Shoji *et al.*, 1993), particularly in the superficial horizons, where the predominating vegetation is comprised of grasses. The lighter colors such as grayish brown 10 YR 5/3 are more frequent in the lower horizons such as C1 and C2, where the presence of organic compounds is scant and the components of mineral origin predominate (Table 1). The soil aggregates of the upper horizons present a structure in weakly developed sub-angular blocks, principally in sites 1 and 5, while it is granular and weakly developed in the A horizons of sites 2, 3 and 4. The dry consistency is soft in the superficial horizons and slightly hard in the lower horizons, where less altered materials are found, the organic components are scarcer and the materials are more compact. The roots of grasses of small size predominate (<1 mm

desarrollada en los horizontes A de los sitios 2, 3 y 4. La consistencia en seco es blanda en los horizontes superficiales y ligeramente dura en los horizontes inferiores, donde se encuentran materiales menos alterados, los componentes orgánicos son más escasos y los materiales más compactos. Predominan las raíces de gramíneas de tamaño fino (<1 mm de diámetro) en los horizontes superficiales y disminuyen conforme aumenta la profundidad del suelo.

La densidad aparente presenta valores menores de  $1.1 \text{ Mg m}^{-3}$  (Cuadro 2) en los horizontes superficiales, debido a la presencia de materiales de origen orgánico y de componentes no cristalinos (Besoain *et al.*, 2000) incrementándose ligeramente con la profundidad donde las sustancias orgánicas son menos abundantes. La densidad real aumenta con la profundidad, a medida que se encuentran materiales menos intemperizados, como en los horizontes C (Cuadro 2). Este comportamiento se refleja en la porosidad del suelo, ya que el mayor porcentaje de ésta se localiza en los horizontes superiores y disminuye con la profundidad por la presencia de materiales más compactos y menos intemperizados. La textura dominante es areno-migajosa, particularmente en los horizontes A y arenosa en

diameter) in the superficial horizons, and they decrease with the soil depth.

The bulk density presents values below  $1.1 \text{ Mg m}^{-3}$  (Table 2) in the superficial horizons, due to the presence of materials of organic origin and of non-crystalline components (Besoain *et al.*, 2000), slightly increasing with the depth where the organic substances are less abundant. The particle density increases with depth, as less weathered materials are found, as in the C horizons (Table 2). This behaviour is reflected in the soil porosity, given that the highest percentage is located in the upper horizons and decreases with depth with the presence of materials that are more compact and less weathered. The dominant texture is sandy-loam, particularly in the A horizons, and sandy in the C horizons, due to the fact that the latter have materials with fragments that are thicker and less altered. Only site 5, which corresponds to the deepest soil, presents a thick texture in the superficial horizons with a slight increase in the loam fraction of 40 to 55 cm in horizon A14, attributable to an alteration of the sands in particles of the size of loams of the superficial horizons and their later depositing in this layer.

**Cuadro 2. Propiedades físicas de los suelos del volcán La Malinche.**  
**Table 2. Physical properties of the soils of the La Malinche volcano.**

| Sitios | Hz  | Profundidad<br>cm | Densidad $\text{Mg m}^{-3}$ |      | Porosidad<br>% | Partículas % |       |          | Clase textural  |
|--------|-----|-------------------|-----------------------------|------|----------------|--------------|-------|----------|-----------------|
|        |     |                   | aparente                    | real |                | Arenas       | Limos | Arcillas |                 |
| 1      | A11 | 0-10              | 1.1                         | 2.1  | 51.16          | 84           | 10    | 6        | Arena migajosa  |
|        | A12 | 10-30             | 1.1                         | 2.3  | 52.15          | 82           | 14    | 4        | Arena migajosa  |
|        | C1  | 30-50             | 1.2                         | 2.4  | 48.72          | 84           | 12    | 4        | Arena migajosa  |
|        | C2  | 50-70             | 1.3                         | 2.5  | 47.45          | 88           | 10    | 2        | Arenosa         |
| 2      | A11 | 0-10              | 1.0                         | 2.0  | 51.21          | 84           | 12    | 4        | Arena migajosa  |
|        | A12 | 10-23             | 1.0                         | 2.2  | 53.63          | 80           | 16    | 4        | Arena migajosa  |
|        | A13 | 23-35             | 1.0                         | 2.3  | 55.79          | 80           | 16    | 4        | Arena migajosa  |
|        | C1  | 35-49             | 1.1                         | 2.4  | 54.50          | 80           | 15    | 5        | Arena migajosa  |
|        | C2  | 49-70             | 1.4                         | 2.4  | 42.38          | 90           | 9     | 1        | Arenosa         |
| 3      | A11 | 0-10              | 0.9                         | 2.2  | 59.27          | 72           | 23    | 5        | Arena migajosa  |
|        | A12 | 10-19             | 0.9                         | 2.3  | 56.82          | 72           | 21    | 7        | Arena migajosa  |
|        | C1  | 19-34             | 1.2                         | 2.4  | 51.02          | 80           | 15    | 5        | Arena migajosa  |
|        | C2  | >34               | 1.3                         | 2.5  | 46.42          | 83           | 15    | 2        | Arenosa         |
| 4      | A11 | 0-12              | 0.9                         | 2.2  | 57.14          | 84           | 14    | 2        | Arena migajosa  |
|        | A12 | 12-20             | 1.0                         | 2.3  | 57.26          | 84           | 12    | 4        | Arena migajosa  |
|        | A13 | 20-32             | 1.2                         | 2.5  | 51.79          | 82           | 14    | 4        | Arena migajosa  |
|        | C1  | 32-57             | 1.3                         | 2.7  | 50.75          | 88           | 10    | 2        | Arenosa         |
|        | C2  | >57               | 1.4                         | 2.9  | 50.51          | 96           | 2     | 2        | Arenosa         |
| 5      | A11 | 0-10              | 0.7                         | 2.1  | 67.14          | 90           | 8     | 2        | Arenosa         |
|        | A12 | 10-30             | 1.2                         | 2.4  | 49.78          | 86           | 9     | 5        | Arenosa         |
|        | A13 | 30-40             | 1.1                         | 2.4  | 52.30          | 86           | 11    | 3        | Arenosa         |
|        | A14 | 40-55             | 1.2                         | 2.4  | 50.81          | 70           | 26    | 4        | Migajón arenosa |
|        | C1  | 55-75             | 1.3                         | 2.5  | 47.22          | 82           | 14    | 4        | Arena migajosa  |
|        | C2  | 75-95             | 1.4                         | 2.5  | 45.09          | 86           | 10    | 4        | Arenosa         |

Hz = horizonte.

los horizontes C, debido a que estos últimos poseen materiales con fragmentos más gruesos poco alterados. Sólo el sitio 5, que corresponde al suelo más profundo, presentó una textura gruesa en los horizontes superficiales con un ligero incremento en la fracción de limos de 40 a 55 cm en el horizonte A14, atribuible a una alteración de las arenas en partículas del tamaño de limos de los horizontes superficiales y su posterior depósito en esta capa.

Los suelos presentaron un pH muy ácido en los horizontes superficiales (A11, A12, A13 y A14) de los sitios estudiados (Cuadro 3), con excepción del sitio 2 donde se reportó como ligeramente ácido (Vázquez-Alarcón, 1997). Esta acidez se atribuye primero a la presencia de aluminio proveniente de la hidrólisis de compuestos alofánicos y, luego, a la cantidad de acículas de *Pinus* sp. que son potencialmente acidificantes por la producción de ácidos orgánicos y H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> que influyen en la formación de complejos Al-humus (Shoji, *et al.*, 1993; Urrego, 1997) que al hidrolizarse incrementan la acidez del suelo. El contenido de MO, según Fassbender y Bornemisza (1994), se encuentra

The soils presented a very acid pH in the superficial horizons (A11, A12, A13 and A14) of the sites studied (Table 3), with the exception of site 2 which was reported as slightly acid (Vázquez-Alarcón, 1997). This acidity was attributed firstly to the presence of aluminium from the hydrolysis of allophanic compounds, and next, to the amount of needles of *Pinus* sp. which are potentially acidifying due to the production of organic acids and H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> which influence on the formation of Al-humus complexes (Shoji *et al.*, 1993; Urrego, 1997), which when hydrolyzed, increase soil acidity. The content of OM, according to Fassbender and Bornemisza (1994), is found in an interval of poor to rich, depending on the vegetation of each site, the highest amount being found in the superficial horizons and gradually decreasing with depth until becoming very poor in the C horizons (Vázquez-Alarcón, 1997). The CEC is moderate in the soils, the superficial horizons being the most active in exchange, which decreases with depth, where the OM and the clay content are lower. The percentage of saturation of bases is moderate and

**Cuadro 3. Propiedades químicas de los suelos del volcán La Malinche.**  
**Table 3. Chemical properties of the soils of the La Malinche volcano.**

| Sitio | Hz  | Profundidad<br>cm | pH 1:2.5         |  | MO    | C    | CIC   | Iones intercambiables cmol (+)kg <sup>-1</sup> |                  |                |                 | PSB<br>% |
|-------|-----|-------------------|------------------|--|-------|------|-------|--|------------------|----------------|-----------------|----------|
|       |     |                   | H <sub>2</sub> O |  | %     |      |       | Ca <sup>2+</sup>                               | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> | Na <sup>+</sup> |          |
| 1     | A11 | 0-10              | 5.19             |  | 9.40  | 5.45 | 13.86 | 5.2  | 0.8              | 0.4            | 1.2             | 54.8     |
|       | A12 | 10-30             | 5.09             |  | 5.43  | 3.15 | 10.19 | 3.5  | 0.5              | 0.2            | 1.3             | 54.0     |
|       | C1  | 30-50             | 5.23             |  | 0.99  | 0.57 | 9.66  | 3.0  | 0.4              | 0.3            | 1.5             | 53.8     |
|       | C2  | 50-70             | 5.24             |  | 0.34  | 0.20 | 7.60  | 1.8  | 1.0              | 0.3            | 1.4             | 59.2     |
| 2     | A11 | 0-10              | 6.25             |  | 4.49  | 2.60 | 14.23 | 4.7  | 1.2              | 0.4            | 1.0             | 51.3     |
|       | A12 | 10-23             | 6.20             |  | 4.78  | 2.77 | 13.71 | 5.0  | 0.3              | 0.3            | 1.0             | 49.2     |
|       | A13 | 23-35             | 6.19             |  | 4.18  | 2.42 | 11.05 | 4.5  | 0.4              | 0.3            | 0.6             | 52.5     |
|       | C1  | 35-49             | 6.35             |  | 2.33  | 1.35 | 9.89  | 4.0  | 0.5              | 0.2            | 1.1             | 58.6     |
|       | C2  | 49-70             | 6.44             |  | 0.49  | 0.28 | 5.20  | 1.5  | 0.5              | 0.2            | 0.9             | 59.6     |
| 3     | A11 | 0-10              | 5.41             |  | 10.53 | 6.10 | 19.46 | 8.0  | 1.4              | 0.5            | 2.1             | 61.7     |
|       | A12 | 10-19             | 5.63             |  | 7.67  | 4.45 | 18.90 | 6.5  | 1.8              | 0.3            | 1.7             | 54.5     |
|       | C1  | 19-34             | 5.85             |  | 2.96  | 1.72 | 11.20 | 4.4  | 0.7              | 0.3            | 1.5             | 61.6     |
|       | C2  | > 34              | 5.97             |  | 2.27  | 1.32 | 8.44  | 4.0  | 0.7              | 0.1            | 0.5             | 62.8     |
| 4     | A11 | 0-12              | 5.03             |  | 9.53  | 5.53 | 15.00 | 5.8  | 1.2              | 0.9            | 1.1             | 60.0     |
|       | A12 | 12-20             | 5.31             |  | 6.86  | 3.98 | 15.20 | 5.3  | 1.8              | 0.2            | 1.0             | 55.9     |
|       | A13 | 20-32             | 5.20             |  | 3.11  | 1.80 | 13.40 | 3.8  | 1.8              | 0.2            | 1.2             | 52.2     |
|       | C1  | 32-57             | 5.31             |  | 1.08  | 0.62 | 8.20  | 2.3  | 1.7              | 0.1            | 0.8             | 59.8     |
|       | C2  | > 57              | 5.32             |  | 0.19  | 0.11 | 9.00  | 2.3  | 1.5              | 0.1            | 1.0             | 54.4     |
| 5     | A11 | 0-10              | 5.06             |  | 5.36  | 3.11 | 10.95 | 2.5  | 1.6              | 0.6            | 1.2             | 53.9     |
|       | A12 | 10-30             | 4.98             |  | 4.25  | 2.46 | 9.55  | 2.5  | 1.5              | 0.2            | 1.0             | 54.4     |
|       | A13 | 30-40             | 4.95             |  | 3.69  | 2.14 | 9.78  | 2.0  | 1.7              | 0.2            | 1.5             | 55.2     |
|       | A14 | 40-55             | 5.26             |  | 3.02  | 1.75 | 9.01  | 2.8  | 0.7              | 0.2            | 1.2             | 54.4     |
|       | C1  | 55-75             | 5.03             |  | 0.78  | 0.45 | 7.15  | 2.0  | 0.5              | 0.2            | 1.1             | 78.3     |
|       | C2  | 75-95             | 5.01             |  | 0.17  | 0.01 | 8.03  | 2.3  | 0.6              | 0.1            | 1.1             | 51.1     |

Hz = horizonte; MO = materia orgánica; C = carbono orgánico; CIC = capacidad de intercambio catiónico; PSB = porcentaje de saturación de bases.

en un intervalo de pobre a rico, dependiendo de la vegetación en cada sitio, presentándose la mayor cantidad en los horizontes superficiales y disminuyendo gradualmente con la profundidad hasta llegar a ser muy pobres en los horizontes C (Vázquez-Alarcón, 1997). La CIC es media en los suelos siendo los horizontes superficiales los más activos en intercambio, la cual disminuye con la profundidad, donde la MO y el contenido de arcillas es menor. El porcentaje de saturación de bases es medio y el complejo de intercambio está dominado por  $Ca^{2+}$  y su intervalo se encuentra dentro de los niveles establecidos para la mayoría de los suelos forestales de origen volcánico (Fassbender y Bornemisza, 1994). Sin embargo es ligeramente mayor en los sitios 2 y 3 con exposición al este, donde se presenta un menor lavado de bases, lo que favorece la aceleración de los procesos microbianos en la descomposición de la MO (Pritchett, 1986). El  $Mg^{2+}$  se presenta en cantidades relativamente bajas en los suelos estudiados. Las mayores cantidades de  $Mg^{2+}$  se encuentran en los horizontes superficiales como producto de la alteración provocada por los factores climáticos en los minerales ferromagnesianos y silicatos de magnesio, materiales comunes en los piroclastos que conforman estos suelos (Flores, 1993).

**Regeneración natural de *Pinus montezumae* Lamb.**

Se contabilizaron 207 renuevos en los cinco sitios estudiados; 65% de la población de renuevos se localizó entre 3000 a 3060 m particularmente en los sitios 1 y 2 los cuales presentaron una orientación al N y al E (Cuadro 4). La mayor cantidad de renuevos equivalen al 58% de la población total contabilizada en las laderas con orientación al N, las cuales se consideran favorables para esta especie, dado que es un árbol de crecimiento rápido que necesita gran cantidad de luz durante sus primeros años de vida. En las laderas con exposición al E hubo 35.3% de renuevos, mientras

the exchange complex is dominated by  $Ca^{2+}$  and their interval is found within the levels established for the majority of forest soils of volcanic origin (Fassbender and Bornemisza, 1994). However, it is slightly higher in sites 2 and 3 with eastern exposure, where there is less washout of bases, which favors the acceleration of the microbial processes in the decomposition of the OM (Pritchett, 1986). The  $Mg^{2+}$  appears in relatively small amounts in the soils studied. The highest amounts of  $Mg^{2+}$  are found in the superficial horizons as a product of the alteration provoked by the climatic factors in the ferromagnesian minerals and magnesium silicates, materials which are common in the pyroclasts that comprise these soils (Flores, 1993).

**Natural regeneration of *Pinus montezumae* Lamb.**

With respect to new seedlings, 207 were counted in the five sites studied; 65% of the population of new seedlings was located between 3000 and 3060 m, particularly in sites 1 and 2, which presented an orientation towards the N and the E (Table 4). The highest amount of new seedlings represents 58% of the total population counted on the slopes with a northern orientation, which are considered favourable for this species, given that it is a tree of rapid growth that needs a great amount of light during the first years of life. On the slopes with an eastern exposure, there was 35.3% of new seedlings, whereas at a higher altitude on the slopes with a northern exposure, only 6.8% was quantified of new seedlings of *P. montezumae* Lamb.

In sites 1 and 2, the new seedlings that predominate are of 1.50 to 2.49 m in height, thus they are considered to be within Class III (Table 4). As altitude increases, the amount of new seedlings decreases but their size increases, therefore in site 3, from 3090 m there is a predominance of new seedlings of Class V with a height of 3.50 to 4.99 m, while in site 4, the greatest

**Cuadro 4. Cantidad de renuevos por tamaño en el bosque del volcán La Malinche.**  
**Table 4. Number of seedlings per size in the forest of the La Malinche volcano.**

| Sitio                                      | Altitud, m | Exposición | Clases por tamaño |    |     |    |    |    |     | Total | %   |
|--|------------|------------|-------------------|----|-----|----|----|----|-----|-------|-----|
|  |            |            | I                 | II | III | IV | V  | VI | VII |       |     |
| Cantidad de renuevos en 400 m <sup>2</sup> |            |            |                   |    |     |    |    |    |     |       |     |
| 1  | 3000       | Norte      | 3                 | 15 | 45  | 23 | 6  | 0  | 2   | 94    | 45  |
| 2  | 3060       | Este       | 2                 | 7  | 25  | 6  | 1  | 0  | 1   | 42    | 20  |
| 3  | 3090       | Este       | 0                 | 4  | 7   | 4  | 15 | 1  | 0   | 31    | 15  |
| 4  | 3200       | Norte      | 6                 | 8  | 5   | 2  | 3  | 1  | 1   | 26    | 13  |
| 5  | 3460       | Noreste    | 1                 | 1  | 2   | 1  | 3  | 4  | 2   | 14    | 7   |
| Total                                      |            |            | 12                | 35 | 84  | 36 | 28 | 6  | 6   | 207   | 100 |

Classes: I (0-0.49 m); II (0.50-1.49 m); III (1.50-2.49 m); IV (2.50-3.49 m); V (3.50-4.99 m); VI (5.00-7.99 m); VII (8.00-12.00 m).



que a mayor altitud en las laderas con exposición al N sólo se cuantificó 6.8% de renuevos de *P. montezumae* Lamb.

En los sitios 1 y 2 los renuevos que predominan son de 1.50 a 2.49 m de altura, por lo que se consideran dentro de la Clase III (Cuadro 4). Al incrementar la altitud, la cantidad de renuevos disminuye pero aumenta su tamaño, por lo que en el sitio 3, a 3090 m dominan los renuevos de la Clase V con una altura de 3.50 a 4.99 m, mientras que en el sitio 4 la población mayor la componen los renuevos de la Clase II con una altura de 0.50 a 1.49 m disminuyendo notablemente la población de renuevos de mayor tamaño. A altitudes mayores a 3200 m es muy escasa la población de renuevos, aunque es más factible encontrar arbolitos de mayor tamaño que se consideran dentro de las Clases VI y VII.

Los *P. montezumae* Lamb. pueden desarrollarse en altitudes de 900 a 3550 m (Rzedowski, 1988; Sánchez y López, 2003), lo que concuerda para la zona de estudio ya que la mayor población de renuevos se encontró entre 3000 y 3200 m. El *P. montezumae* Lamb. es una especie pionera que puede ser seguida de *Abies religiosa* (HBK.) Schltdl. et Cham., por lo que es un árbol de importancia ecológica al usarse para restaurar zonas boscosas (Sánchez *et al.*, 1991).

Los renuevos más abundantes corresponden a la Clase III, seguidos por los de las Clases IV y II. Es conveniente mencionar que la cantidad de renuevos disminuye drásticamente al aumentar la altitud donde las temperaturas son menores, por lo que sobreviven los renuevos más vigorosos y predominan árboles con una altura entre 5 y 7.99 m correspondientes a la Clase VI. Se considera que la cantidad y tamaño de renuevos de *P. montezumae* Lamb., está en función de las características climáticas de los sitios donde se desarrollan (Iglesias y Tivo, 2006).

### Características de los árboles padre

Se cuantificaron 34 árboles adultos y con base en los datos dasométricos (Cuadro 5) la especie en estudio se mantiene dentro de las variables mencionadas por Martínez (1948) y SARH (1993), en el sentido de que *P. montezumae* Lamb., se desarrolla de 900 a 3200 m. El arbolado adulto en el volcán La Malinche corresponde a un bosque joven, coetáneo, bien establecido con edad promedio de 22.2 años, adaptado a las condiciones del suelo. La mayor cantidad de árboles adultos se encontró en laderas con orientación al N principalmente en el sitio 1 donde se calcula una densidad de población de 350 árboles  $\text{ha}^{-1}$  y su tamaño promedio es cercano a los 20 m. Los árboles de mayor tamaño se encontraron en el sitio 3 a 3090 m y su altura media

population is comprised of the Class II seedlings, with a height of 0.50 to 1.49 m, with a notable decrease in the population of larger seedlings. At altitudes of over 3200 m, the population of seedlings is very scant, although it is more likely to find larger saplings which are considered to be within Classes VI and VII.

*P. montezumae* Lamb. can develop in altitudes of 900 to 3550 m (Rzedowski, 1988; Sánchez and López, 2003), which coincides with the zone of study, given that the highest population of seedlings was found between 3000 and 3200 m. *P. montezumae* Lamb. is a pioneer species that can be followed by *Abies religiosa* (HBK.) Schltdl. et Cham., thus it a tree of ecological importance when used to restore forest zones (Sánchez *et al.*, 1991).

The most abundant seedlings correspond to Class III, followed by those of Classes IV and II. It is convenient to mention that the number of seedlings drastically decreases with altitude where the temperatures are lower, thus the most vigorous seedlings survive, and there is predominance of trees with a height between 5 and 7.99 m corresponding to Class VI. It is considered that the amount and size of seedlings of *P. montezumae* Lamb, is a function of the climatic characteristics of the sites where they develop (Iglesias and Tivo, 2006).

### Characteristics of the parent trees

Thirty-four adult trees were quantified, and based on the dasometric data (Table 5), the species under study is maintained within the variables mentioned by Martínez (1948) and SARH (1993), in the sense that *P. montezumae* Lamb., develops at 900 to 3200 m. The adult trees on the La Malinche volcano correspond to a young forest, coetaneous, well established with average age of 22.2 years, adapted to the soil conditions. The greatest number of adult trees was found on slopes with a northern orientation, principally in site 1 where a population density of 350 trees  $\text{ha}^{-1}$  is calculated, and the average size is close to 20 m. The largest trees were found in site 3 at 3090 m, and their mean height was over 30 m with an average diameter at chest height of 62.66 cm, being the most robust of the five sites studied. The youngest trees (<25 years) were found in sites 1, 2 and 3 between 3000 and 3090 m, whereas the oldest (>25 years) are in sites 4 and 5 at altitudes of over 3200 m (Table 5).

Sites 2, 3 and 4 presented evidence of damage derived from anthropogenic activities, which indicates that the population in the vicinity of the mountain continues to maintain a strong pressure on the forest resources from which they obtain wood for diverse activities. The lowest number of standing trees was

**Cuadro 5. Condiciones dasométricas del arbolado adulto en el volcán La Malinche.**  
**Table 5. Dasometric conditions of the adult trees on the La Malinche volcano.**

| Sitio | Altitud, m | Orientación | Cantidad de árboles en 400 m <sup>2</sup> | Edad, años | DAP, cm | AT, m |
|-------|------------|-------------|---|------------|---------|-------|
| 1     | 3000       | Norte       | 14  | 21.5       | 29.78   | 19.25 |
| 2     | 3060       | Este        | 3   | 17.0       | 47.00   | 19.83 |
| 3     | 3090       | Este        | 4   | 19.0       | 62.66   | 31.33 |
| 4     | 3200       | Norte       | 8   | 28.5       | 45.50   | 23.90 |
| 5     | 3460       | Noreste     | 5   | 25.0       | 49.40   | 24.40 |

DAP = diámetro a la altura del pecho; AT = altura total.

fue superior a los 30 m con un diámetro promedio a la altura del pecho de 62.66 cm, siendo los más robustos de los cinco sitios estudiados. Los árboles más jóvenes (<25 años) se encontraron en los sitios 1, 2 y 3 entre 3000 a 3090 m, mientras que los más viejos (>25 años) están en los sitios 4 y 5 a altitudes superiores a 3200 m (Cuadro 5).

Los sitios 2, 3 y 4 presentaron evidencias de daños derivados de las actividades antropogénicas, lo que indica que la población aledaña a la montaña continúa manteniendo una fuerte presión sobre los recursos forestales de los cuales obtienen madera para diversas actividades. La más baja cantidad de árboles en pie se registró en los sitios 2 y 3, donde la densidad de población del bosque es 75 árboles ha<sup>-1</sup>, lo que sugiere que estos sitios se encuentran sujetos a un severo impacto provocado principalmente por la tala y ocoteo realizado de manera clandestina.

#### Composición del sotobosque

En el estrato herbáceo se registraron 22 especies (Cuadro 6), de las cuales *Muhlenbergia macroura* (HBK), se encuentra en cuatro de los sitios estudiados y se considera de abundante a muy abundante de 3000 a 3200 m; mientras que *Lupinus elegans* HBK., se registró de manera muy abundante a 3090 m, y se le considera una especie fito-indicadora de incendios recientes (García-Romero, 2004). *Lupinus campestris* Cham & Schl., *Festuca tolucensis* HBK y *Stipa ichu* (Ruiz & Pav) Kunth., son muy abundantes a 3460 m. El resto de las herbáceas identificadas se reportan sólo como presentes (<30%) en alguno de los sitios estudiados.

La especie *M. macroura* (HBK), es un pasto amacollado indicador de incendios forestales frecuentes, ya que es de las primeras en repoblar el área y sobrevive gracias a un sistema radicular bien desarrollado manteniendo una cobertura vegetal permanente que evita la erosión del suelo (García-Romero, 2004). En los sitios estudiados las gramíneas son dominantes ya que ocupan alrededor de 55% de la superficie, lo

registrado en sitios 2 and 3, where the population density of the forest is 75 trees ha<sup>-1</sup>, which suggests that these sites find themselves subjected to a severe impact provoked mainly by clandestine felling and collection of ocote.

#### Composition of the understory

In the herbaceous stratum, 22 species were registered (Table 6), of which *Muhlenbergia macroura* (HBK), is found in four of the studied sites, and it is considered abundant to very abundant at 3000 to 3200 m; whereas *Lupinus elegans* HBK., was registered as being very abundant at 3090 m, and it is considered to be a phyto-indicator species of recent fires (García-Romero, 2004). *Lupinus campestris* Cham % Schl., *Festuca tolucensis* HBK and *Stipa ichu* (Ruiz & Pav) Kunth., are very abundant at 3460 m. The rest of the herbaceous species that were identified are reported only as present (<30%) in some of the sites studied.

The species *M. macroura* (HBK), is a clustered grass species that is an indicator of frequent forest fires, given that it is one of the first to repopulate the area and survives thanks to a well developed root system maintaining a permanent plant cover that prevents soil erosion (García-Romero, 2004). In the studied sites, the grasses predominate, given that they occupy approximately 55% of the surface, which indicates that the area is subjected to felling and fires induced by the cattle ranchers with the purpose of accelerating the development of new foliage, which is utilized by the cattle.

#### CONCLUSIONS

The soils in the studied sites are very similar, given that they present a sequence of evolution A/C, are formed from volcanic ash, thus they present a dark grayish brown superficial horizon, are rich in OM, thus they are very acid, have a sandy-loam texture, with a medium CEC, which depends on their mineralogy, and being andosol, they are rich in

cual indica que la zona se encuentra sujeta a tala e incendios inducidos por los ganaderos con el propósito de acelerar el desarrollo de follaje nuevo, que es aprovechado por el ganado (Acosta *et al.*, 1992).

### CONCLUSIONES

Los suelos de los sitios estudiados son muy similares ya que presentan una secuencia de evolución A/C, se formaron a partir de cenizas volcánicas por lo que presentan un horizonte superficial pardo grisáceo oscuro, rico en MO, por lo que son muy ácidos, de textura areno-migajosa, con una CIC media, la cual depende de su mineralogía y que al tratarse de andosoles son ricos en ácidos húmicos y complejos arcillo-húmicos. Además estos suelos permiten un intercambio adecuado de aire y absorción de nutrimentos, propiciando la germinación y establecimiento de la regeneración natural de *P. montezumae* Lamb., independientemente de las características edáficas. La altitud, la temperatura y las actividades antropogénicas son los factores principales que determinan la presencia o ausencia de renuevos.

El sitio 1, a una altitud de 3000 m y con orientación al Norte presentó 45% de la regeneración natural de *P. montezumae* Lamb., predominando los de Clase III y Clase IV, siendo la altura media de los renuevos dominantes de 1.50 a 2.49 m equivalentes a la Clase III. La mayor cantidad de árboles adultos se encontró en las laderas con orientación al N a una altitud de 3000 m con una altura promedio de casi 20 m. Los árboles menores a 25 años de edad se encuentran en los sitios 1, 2 y 3 entre los 3000 a 3090 m de altitud, mientras que los mayores a 25 años se encuentran en los sitios 4 y 5 a alturas superiores a los 3200 m.

En los sitios 2 y 3 con exposición al E con una altitud de 3060 a 3090 m, los suelos son ricos en MO y el Ca<sup>2+</sup> es ligeramente mayor que en los otros sitios estudiados. Ésto acelera la descomposición de la MO, liberando nutrimentos y manteniendo probablemente una temperatura más adecuada para el establecimiento de nuevas plántulas, ya que en ambos sitios se encuentra 35% de la población de renuevos principalmente de la Clase III (1.50-2.49 m).

La mayor densidad de población se presenta en el sitio 1 (350 árboles ha<sup>-1</sup>), lo que indica que a pesar del impacto provocado por los fenómenos naturales y las actividades antropogénicas, la masa forestal sigue realizando el proceso de regeneración natural. Los sitios más afectados por incendios, tala, ocoteo y pastoreo fueron el 2 y 3 donde derivado de estas actividades se calculó una densidad de población de 100 árboles ha<sup>-1</sup>. El sotobosque de los sitios estudiados está constituido por *M. macroura* (HBK)., *Stipa*

**Cuadro 6. Listado florístico del estrato herbáceo en el volcán La Malinche.**  
**Table 6. Floristic list of the herbaceous stratum on the La Malinche volcano.**

| Especies                                  | Sitios de muestreo |      |      |      |      |
|---|--------------------|------|------|------|------|
|   | 1                  | 2    | 3    | 4    | 5    |
|   | 3000               | 3060 | 3090 | 3200 | 3460 |
|   | m                  |      |      |      |      |
| <i>Baccharis conferta</i> HBK.            | ●                  |      | ●    |      |      |
| <i>Muhlenbergia macroura</i> (HBK)        | ◇                  | ◇    | ◇    | ×    |      |
| <i>Trifolium</i> sp.                      | ●                  |      |      |      |      |
| <i>Salix cana</i> Murt. & Gal.            | ●                  |      |      |      |      |
| <i>Senecio toluicans</i> DC.              | ●                  |      |      |      |      |
| <i>Eupatorium</i> sp.                     | ●                  |      |      |      |      |
| <i>Geranium potentillaefolium</i> DC      | ●                  |      | ●    | ●    |      |
| <i>Lupinus elegans</i> HBK.               |                    |      | ◇    | ●    |      |
| <i>Senecio angulifolius</i> DC.           |                    |      | ●    | ●    |      |
| <i>Schropulareacea</i> sp.                |                    |      |      | ●    |      |
| <i>Senecio cinerarioides</i> Kunth        |                    |      |      | ●    |      |
| <i>Castilleja tenuiflora</i> Benth.       |                    |      |      | ●    |      |
| <i>Alchamella procumbens</i> Rose.        |                    |      | ●    |      | ●    |
| <i>Buddleia lanceolata</i> Benth.         |                    |      |      | ●    |      |
| <i>Stena</i> sp.                          |                    |      |      | ●    |      |
| <i>Salix paradoxa</i> HBK.                |                    |      |      | ●    |      |
| <i>Eryngium cartinae</i> Delar.           |                    |      |      |      | ●    |
| <i>Calamagrostis toluensis</i> Kunth.     |                    |      |      |      | ●    |
| <i>Festuca toluensis</i> HBK.             |                    |      |      |      | ◇    |
| <i>Stipa ichu</i> (Ruiz & Pav) Kunth.     |                    |      |      |      | ◇    |
| <i>Lupinus campestris</i> Cham & Schl.    |                    |      |      |      | ◇    |
| <i>Penstemon campanulatu</i> (Cav) Willd. |                    |      |      |      | ●    |

● Presente (0 a 29%); ◇ Abundante (30 a 59%); × Muy abundante (60 a 100%).

humic acids and clay-humus complexes. Furthermore, these soils permit an adequate exchange of air and nutrient absorption, propitiating germination and the establishment of natural regeneration of *P. montezumae* Lamb., regardless of the edafic characteristics. The altitude, temperature and anthropogenic activities are the principal factors that determine the presence or absence of seedlings.

Site 1, at an altitude of 3000 m and with orientation to the North, presented 45% of the natural regeneration of *P. montezumae* Lamb., predominating those of Class III and Class IV, with the mean height of the dominant seedlings from 1.50 to 2.49 m equivalent to Class III. The greatest number of adult trees was found on the slopes with a northern orientation at an altitude of 3000 m, with an average height of almost 20 m of altitude. The trees of under 25 years of age are found in sites 1, 2 and 3 between 3000 to 3090 m of altitude, whereas those of over 25 years are found in sites 4 and 5 at altitudes of over 3200 m.

In sites 2 and 3 with an eastern exposure and with an altitude of 3060 to 3090 m, the soils are rich in

*ichu* (Ruiz & Pav) Kunth. y *L. elegans* HBK., lo cual indica la existencia de procesos antropogénicos como incendios, tala y pastoreo.

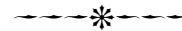
#### AGRADECIMIENTOS

Al Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) de la Secretaría de Educación Pública (SEP), por el apoyo otorgado para la adquisición de equipo para laboratorio.

#### LITERATURA CITADA

- Acosta, P. R. 1992. Algunas coníferas del estado de Tlaxcala. Jardín Botánico Tizatlán. Ed. Gobierno del Estado de Tlaxcala. Folleto No. 14. Tlaxcala, México. 32 p.
- Baver, L. D., W. H. Gardner, y W. R. Gardner. 1981. Física de Suelos Ed. UTEHA. México 530 p.
- Besoain, M. E., P. M. Peralta, y M. S. Massaro. 2000. Mineralogía y génesis de algunos suelos de cenizas volcánicas de Chilóe Continental, Chile. *Agríc. Téc.* 60(2): 127-153.
- Chacón-Sotelo, J. M., A. Velásquez-Martínez, y M. A. Musálem. 1998. Comportamiento de la repoblación natural de *Pinus arizonica* Engelm., bajo diferentes coberturas. *Madera y Bosques* 4(2): 39-44.
- Chávez, C. J. M., M. M. Ramos, y N. B. Trigo. 1990. Planificación del Parque Nacional Malintzin: Naturaleza y Uso del Suelo. *In: Áreas Naturales Protegidas y Especies en Peligro de Extinción*. Ed. ENEP-Iztacala, UNAM. México. pp: 61-74.
- DETENAL. 1980. Cartas Topográficas. Claves: E14B33, E14B34, E14B43 y E14B44. Tlaxcala, Huamantla, Apizaco y Tepetlaxco. Esc. 1:50,000. Dirección de Estadística del Territorio Nacional. México.
- Espejel, R. A., y R. G. Carrasco. 1999. El deterioro ambiental en Tlaxcala y las políticas de desarrollo estatal 1988-1999. *In: Caracterización de las Comisiones Municipales de Ecología del Estado de Tlaxcala*. Gaceta Ecológica Núm. 52: 41-52.
- FAO-ISRIC-SICS, 1999. Base referencial mundial del recurso suelo. *In: Informes sobre recursos mundiales de suelos*. No. 84. Ed. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Centro Internacional de Referencia e Información en Suelos y Sociedad Internacional de las Ciencias del Suelo. Roma, Italia. 94 p.
- Fassbender, W. H. y E. Bornemisza. 1994. Química de Suelos con Énfasis en Suelos de América Latina. 2da. edición. Ed. IICA. San José de Costa Rica. 420 p.
- Flores, R. 1993. Informe de la visita de reconocimiento por arcilla o barro realizada al predio "San José Teteltitla, Mpio. de Yauquemecan, Tlaxcala". Archivo técnico 29008 (en línea). *In: Consejo de Recursos Minerales*. Gerencia Regional Zona Sur. México. 13 p. <<http://cs.coremisgm.gob.mx/informes/pendientes/t2993fobr0001.pdf>>, consultado 18 de julio de 2006.
- García-Romero, A. 2004. Dinámica del paisaje post-fuego en el pastizal tropical de alta montaña. Volcán Iztaccíhuatl, México. *Interiencia* 29(11): 604-611.
- IG. 1991. Cartas IV.4.10 y IV.7.1. Unidades taxonómicas de suelos y Climas *In: Atlas Nacional de México*. Ed. Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Iglesias-Andreu, L. G. y Y. Tivo-Fernández. 2006. Caracterización morfométrica de la población de *Pinus hartwegii* Lindl. del Cofre de Perote, Veracruz, México. *Revista Ra Ximhai* 2(2): 449-468.
- INEGI. 1998. Fotografías aéreas pancromáticas a escala 1:35,000 y 1:70,000 del volcán La Malinche. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- OM and the Ca<sup>2+</sup> is slightly higher than in the other sites studied. This accelerates the decomposition of the OM, releasing nutrients and probably maintaining a more adequate temperature for the establishment of new seedlings, given that in both sites, 35% of the population of new seedlings is found, mainly of Class II (1.50-2.49 m).
- The highest population density is found in site 1 (350 trees ha<sup>-1</sup>), which indicates that despite the impact caused by the natural phenomena and the anthropogenic activities, the forest mass continues to carry out the process of natural regeneration. The sites most affected by fires, felling, ocoteo and grazing were 2 and 3, where a population density of 100 trees ha-1 was calculated deriving from these activities. The understory of the studied sites is constituted by *M. macroura* (HBK.), *Stipa ichu* (Ruiz & Pav) Kunth. and *L. elegans* HBK., which indicates the existence of anthropogenic processes such as fires, felling and grazing.

—End of the English version—



- Madrigal, S. X. 1967. Contribución al conocimiento de la ecología de los bosques de oyamel (*Abies religiosa* (H.B.K) Schl. et. Cham.) en el Valle de México. Boletín Técnico del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. No. 18. México. 94 p.
- Martínez, M., 1948. Los Pinos Mexicanos. 2da. edición. Ed. Botas. México. 361p.
- Pritchett, L. W. 1986. Suelos Forestales: Propiedades, Conservación y Mejoramiento. Ed. LIMUSA. México. 634 p.
- Rzedowski, J. 1988. Vegetación de México. Ed. Limusa, México, Distrito Federal. 432 p.
- Sánchez, G. A., y M. L. López. 2003. Clasificación y ordenación de la vegetación del norte de la Sierra Nevada, a lo largo de un gradiente altitudinal. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Botánica* 74(1): 47-71.
- Sánchez, V. L. R., L. M. del R. Pineda, y M. A. Hernández. 1991. Distribución y estructura de *Abies religiosa* en el Cofre de Perote. *Acta Bot. Mex.* (16): 45-55.
- SARH. 1993. Diagnóstico del Parque Nacional Malinche o Metlacueyatl, Tlaxcala. Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 39 p.
- Schoeneberger, P. J., D. A. Wysocky, E. C. Benham, and W. D. Broderson (eds.). 2002. Field Book for Describing and Sampling Soils. Versión 2.0. NRCS, NSSC, Lincoln, NE.
- SEMARNAT. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-REC-NAT-2000, Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación, 31 de diciembre 2002. 75 p.
- SEP (Secretaría de Educación Pública). 1982. Manual para Educación Agropecuaria. Producción Forestal. Ed. Trillas. México, D. F. 134 p.
- Shoji, S., M. Nanzyo., and R. Dahlgren. 1993. Volcanic Ash Soils. Genesis, Properties and Utilization. *Developments in Soil Science* 21. Elsevier. Netherlands. 289 p.

- Soil Survey Staff. 1999. Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Survey. Second edition. No. 436. Agriculture handbook. Ed. United States Department of Agriculture and Natural Resources Conservation Service. Washington, USA. 879 p.
- Urrego, B. 1997. La reforestación con coníferas y sus efectos sobre la acidificación, podsolidación y pérdida de fertilidad de los suelos. *Informaciones Agron.* 28: 6-12.
- Vargas, M. F. 1997. Parques Nacionales de México. Vol. I. Zonas Centro, Occidente y Oriente. Ed. Instituto Nacional de Ecología, UNAM. México. D. F. 331 p.
- Vázquez-Alarcón, A. 1997. Guía para Interpretar el Análisis Químico del Agua y Suelo. 2da. edición. Ed. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México. 31 p.