

# CIENCIA FORESTAL

en México

ISSN 1405-3586

REV. CIEN. FOR. EN MÉX. VOL. 22. NÚM. 82. 136 P. MÉXICO, D.F. JUL-DIC 1997

**SOLO  
CONSULTA  
En oficina**

**inifap**  
PRODUCE

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS  
DIRECCION GENERAL FORESTAL

# CIENCIA FORESTAL

en México

VOL. 22

JUL-DIC 1997

NÚM. 82

## CONTENIDO

Pág.

INTERACTION BETWEEN ACTINORRHIZAL AND MYCORRHIZAL ASSOCIATIONS ON <i>Alnus acuminata</i> ssp. <i>glabrata</i> María Valdés y María Cristina Galicia.	3
EVALUACIÓN DE CUATRO INTENSIDADES DE PODA EN UNA PLANTACIÓN DE <i>Pinus patula</i> Schl. et. Cham. EN LA REGIÓN DE HUAYACOCOTLA, VERACRUZ. F. Alberto Domínguez Álvarez, Melchor Rodríguez A. y Carlos Mallén R.	15
PLANTACIÓN DE <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. A RAÍZ DESNUDA Y EN ENVASE CON DOS SISTEMAS DE PREPARACIÓN DE TERRENO. H. Jesús Muñoz Flores.	33
ESTUDIO ECONOMÉTRICO DEL MERCADO DE LA MADERA ASERRADA EN MÉXICO. Eusebio Pedraza Cerón, Gustavo García Delgado, Alejandro Velázquez M. y Enrique Serrano Gálvez.	59
INFLUENCIA DEL USO DEL SUELO EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE SUELOS FORESTALES EN EL SUROESTE DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA Y NORTE DE MÉXICO. José Villanueva Díaz y R. McPherson Guy.	79
CONTENIDO DE METALES PESADOS EN ALGUNOS SUELOS Y VEGETACIÓN DEL DESIERTO DE LOS LEONES, DISTRITO FEDERAL. Juana Ma. Castro Servín, Verónica González K. y Tomás Hernández T.	109
CUERPO CONSULTIVO	129

# INTERACTION BETWEEN ACTINORRHIZAL AND MYCORRHIZAL ASSOCIATIONS ON *Alnus acuminata* ssp. *glabrata*

Valdés María<sup>1</sup>  
Galicía María Cristina<sup>1</sup>

## ABSTRACT

Actinorrhizal and mycorrhizal symbiosis was studied in *Alnus acuminata* ssp. *glabrata* growing under greenhouse conditions. In their natural habitat root nodules and both types of mycorrhizae are common in all alder plants. However, when inoculated in the greenhouse, nodules were observed only in 3 treatments out of 4 inoculated with the nitrogen-fixing *Frankia*. Alder plants were successfully inoculated with the endomycorrhizal fungus *Glomus versiforme* and the ectomycorrhizal *Pisolithus tinctorius*. After 18 weeks, inoculated plants with the combination *Frankia*+*P. tinctorius*, showed shoot volume and dry mass approximately 6 and 2 times greater respectively than those from the control treatment; nodule numbers increased 2.5 times in relation to the *Frankia* treatment. The same measured variables when plants were inoculated with *Frankia*+*G.versiforme* were approximately 4.5 and 2 times greater than the uninoculated plants. Number of nodules did not increase with this combination of microorganisms. No relationship between the number of nodules produced and the shoot dry mass was found. This study shows the potential of the tripartite association, either *P. tinctorius* or *G. versiforme* combined with the native *Frankia* 1801H on *A. acuminata* plants, resulting in a strong interrelationship leading to a greater host plant biomass yield.

Key words: alders, actinorrhizal, mycorrhizal, *Frankia*, host plant biomass

---

<sup>1</sup> Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional. Apdo. Postal 63-246, México, D.F. 02800 México

## RESUMEN

Las simbiosis tanto actinorrízica como micorrízica del aile, *Alnus acuminata* ssp *glabrata* fue estudiada en condiciones de invernadero. En su hábitat natural, este árbol muestra usualmente en sus raíces tanto nódulos fijadores de nitrógeno (formados por *Frankia*), como ectomicorriza y endomicorriza. Sin embargo, cuando se inoculó en el invernadero con la misma bacteria, se formaron nódulos sólo en 3 de los 4 tratamientos ensayados. La inoculación con hongos micorrízicos se logró exitosamente, tanto con el hongo endomicorrízico *Glomus versiforme*, como con el ectomicorrízico *Pisolithus tinctorius*. Después de 18 semanas, las plantas tratadas con la combinación *Frankia-P. tinctorius*, mostraron incrementos en el volumen y peso seco de la parte aérea de las plantas de 6 y 2 veces más, respectivamente, a las plantas del testigo; con este mismo tratamiento se incrementó en 2.5 veces el número de nódulos, respecto a las plantas tratadas sólo con la bacteria. Las mismas variables se incrementaron aproximadamente 4,5 y 2 veces más con la combinación de microorganismos *Frankia-G. versiforme*; con este tratamiento no se incrementó el número de nódulos. No se encontró relación entre el número de nódulos y la biomasa de la parte aérea de las plantas. Este estudio muestra el potencial de la asociación tripartita entre *Alnus acuminata* y *Frankia* más un hongo micorrízico: interrelación conducente a una mayor producción del árbol.

**Palabras clave:** ailes, actinorriza, micorriza, *Frankia*, biomasa de la planta hospedera

## INTRODUCTION

The actinorrhizal plants are woody angiosperms that usually inhabit soils with marginal fertility. The ecological significance of the use of these plants have a great potential for reforestation of extreme environments of different ecosystems due to their ability to grow in very diverse habitats and sites of different geographical origin (Baker and Schwintzer, 1990)<sup>2</sup>.

The genus *Alnus*, among the actinorrhizal group of plants, is by far the most intensively studied. Species of this genus are reported to be responsible for amounts of N accretion ranging from 40 to 360 kg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> in North American ecosystems (Tarrant, 1983)<sup>1</sup>, to stimulate the growth of intercropped species (Dawson, 1986)<sup>4</sup>, and to improve soil N mineralization (Paschke *et al.*, 1989)<sup>3</sup>. Its use as a nitrogen-fixing woody nurse crop has

<sup>2</sup> Baker, D. D. and C. R. Schwintzer. 1990. Introduction. In: The Biology of *Frankia* and Actinorrhizal Plants. pp 3-11.

<sup>1</sup> Tarrant, R. F. 1983. Nitrogen fixation in North American forestry: Research and Application. In: Biological Nitrogen Fixation in Forest Ecosystems: Foundations and Applications. pp 261-277

<sup>4</sup> Dawson, J. O. 1986. Actinorrhizal Plants: Their use in forestry and agriculture. *Outl. Agr.* 15: 202-207.

<sup>3</sup> Paschke, M. W.; J. O. Dawson and M. B. David. 1989. Soil nitrogen mineralization in plantations of *Juglans nigra* interplanted with actinorrhizal *Elaeagnus-umbellata* or *Alnus glutinosa*. *Plant Soil* 118: 32-42.

shown to be highly beneficial apart of improving nitrogen fertility; some of its additional benefits are: wind protection, weed control, faster height growth in crop trees, and also represents an additional source of wood fiber (Van Sambeek *et al.*, 1985)<sup>6</sup>.

Some species of alders are native to Mexico (Furlow, 1979 a, b)<sup>7</sup>, however, no reports on its biology or economical importance in this country are yet available. In other words, this tree is one more of the group of unexploited actinorrhizal trees (Baker, 1990)<sup>8</sup>. This tree, known by its native name: *elite* or *ilite*, is or was intensively used in agroforestry practices by the inhabitant groups of the Valley of Mexico City many years ago (Anaya *et al.*, 1987)<sup>10</sup>. These practices are still observed among a few farmers in the State of Tlaxcala.

*Alnus* species form different root symbiosis. Its ability to meliorate the soil N fertility is related to the root-nodule nitrogen-fixing endosymbiont, *Frankia*. The root of alders, as well as other actinorrhizal species, have been found to support ectomycorrhizae and/or endomycorrhizae, in addition to the nitrogen-fixing nodules (Trappe, 1979<sup>11</sup>; Rose and Youngberg, 1981<sup>12</sup>; Cruz-Cisneros and Valdés, 1990<sup>13</sup>). In reviewing Daft *et al.* (1985)<sup>14</sup> the symbiosis of actinorrhizal plants with endomycorrhizae concluded that arbuscular mycorrhizae enhance nodulation and nitrogen fixation as well as plant growth and phosphate uptake. In relation to the benefit of ectomycorrhizae, it was found that nodulated *A. viridis* absorbed phosphorous five times more quickly than nodulated roots only (Mejstrik and Benecke, 1969)<sup>15</sup>. Fraga-Beddiar and Le Tacon (1990)<sup>16</sup> working on the symbiosis of *A. glutinosa* showed that the arbuscular mycorrhizal symbiont must be established before host plant roots become colonized by *Frankia*; feeder roots colonized by ectomycorrhizal fungi develop later.

It would be expected that increases in phosphorous uptake, enhanced by the activity of either ecto- and endomycorrhizal fungi, might stimulate both, the number of nodule and

<sup>6</sup> Van Sambeek, J. W.; R. C. Schlesinger; F. Ponder and W. J. Rietveld. 1985. Actinorrhizal species as a nurse crop for black walnut. In Central Hardwood Forest Conference, pp 257-263.

<sup>7</sup> Furlow, J. J. 1979a. The systematics of the American species of *Alnus* (Betulaceae) I. *Rhodora* 81: 1-121.

<sup>8</sup> Furlow, J. J. 1979b. The systematics of the American species of *Alnus* (Betulaceae) II. *Rhodora* 81: 151-248.

<sup>9</sup> Baker, D. 1990. Actinorrhizal plants: underexploited trees and shrubs for forestry and agroforestry. *Nitrogen Fixing Tree Res. Rep.* 8: 3-7.

<sup>10</sup> Anaya, A. L.; L. Ramos; R. Cruz; J. G. Hernández and V. Nava. 1987. Perspectives on allelopathy in Mexican traditional agroecosystems: a case study in Tlaxcala. *J. Chem. Ecol.* 13: 2083-2101.

<sup>11</sup> Trappe, J. M. 1979. Mycorrhizae - nodule - host interrelationships in symbiotic nitrogen fixation: A quest in need of questers. In: *Symbiotic nitrogen fixation in the management of temperate forest*, pp. 276 - 286.

<sup>12</sup> Rose, S. A. and C. T. Youngberg. 1981. Tripartite association in snowbrush (*Ceanothus elatunus*): Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizae on growth, nodulation, and nitrogen fixation. *Can. J. Bot.* 59: 34-39.

<sup>13</sup> Cruz-Cisneros, R. and M. Valdés. 1990. Ecological aspects of the actinorrhizal plants growing in the basin of Mexico. *Nitrogen Fixing Tree Res. Rep.* 8: 42-47.

<sup>14</sup> Daft, M. J.; D. M. Clelland and I. C. Gardner. 1985. Symbiosis with endomycorrhizas and nitrogen-fixing organisms. *Proc. R. Soc. Edinb. Sect. 85*: 283-298.

<sup>15</sup> Mejstrik, V. and V. Benecke. 1969. The ectotrophic mycorrhizae of *Alnus viridis* (Chaix) D.C. and their significance in respect to phosphorous uptake. *New Phytol.* 68: 141-149.

<sup>16</sup> Fraga-Beddiar, A. and F. Le Tacon. 1990. Interactions between a VA mycorrhizal fungus and *Frankia* associated with alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.). *Symbiosis* 9: 247-248.

nitrogen fixation. However no reports are available on the comparative effects of an endomycorrhizal versus an ectomycorrhizal fungus on nodulated actinorrhizal plants. The purpose of this study was to compare the interaction between a *Frankia* strain and two different arbuscular fungi, as well as an ectomycorrhizal fungus.

## METHODS AND MATERIALS

There are no seed banks of actinorrhizal plants in Mexico and they are not commercially available. Seeds of *Alnus acuminata* ssp. *glabrata* (Furrow) were collected from a sole tree in an alder population growing along the river Magú, Tepotzotlán, in the State of México. Seeds were surface sterilized using 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> for 10 min, and were then soaked in a 50% ethanol solution for 2 min and rinsed with pollipered sterile water. Seeds were sown in containers filled with sterile quartz sand. Four weeks later, 2 uniform size seedlings were transplanted into each 185 mL-pots (Unicel<sup>®</sup>) containing an autoclaved soil - quartz mixture (1:1). Soil was collected in a pine-oak - alder forest and had a sandy texture (Bouyoucos), a 9.1% organic matter content, with a pH 5.1, a total N of 0.45% (Kjeldahl digestion) and 1.59 µg/g of available P (vanadomolibdo-phosphoric complex).

Seedlings were inoculated with a mycorrhizal fungus and a strain of *Frankia* sp. no. 1801H. The ectomycorrhizal fungus was a Mexican isolate of *Pisolithus tinctorius* (Pers.), Coker and the arbuscular fungi were *Glomus versiforme* (Karst.), Berch and *Glomus* sp. *Frankia* sp. no. 1801H is a native strain which was isolated from fresh, young nodules of *A. acuminata* seedlings inoculated with disinfected and crushed nodules collected in the field (Valdés *et al.*, 1991)<sup>17</sup>. *A. acuminata* seedlings were maintained in a growth chamber. The fruiting body of the ectomycorrhizal fungus was collected in a oak-pine forest. Mycelium from the internal part of the carpophore was isolated and grown on MNM agar medium. The endomycorrhizal fungus, *G. versiforme*, was obtained from the collection of Dr. V. Furlan (Agriculture and Agri-Food Canada Research Centre, Quebec).

Endomycorrhizal inoculum was obtained by propagating the fungus in sorgum plants in the greenhouse. The ectomycorrhizal inoculum was obtained by growing the vegetative mycelium in mason jars filled with a mixture of vermiculite, peat-moss, and MNM nutrient solution (Marx and Kenney, 1982)<sup>18</sup>. The content of mason jars was washed several times with tap water and 15 g of the washed mixture, containing the inoculum,

<sup>17</sup> Valdés, M.; H. Ramírez-Saad; G. Guillén; R. Del Valle y N. Serna. 1991. Algunas características morfológicas y fisiológicas de *Frankia* aislada de *Alnus* y *Casuarina*. Rev. Latinoam. Microbiol. 33: 271-277.

<sup>18</sup> Marx, D. H. and D. S. Kenney. 1982. Production of ectomycorrhizal fungus inoculum. In: Methods and Principles of Mycorrhizal Research. pp. 131-146.

and then placed into the root zone of the seedlings. All fungi were inoculated individually at transplanting time. *Frankia* inoculum, being added one week later, was obtained by growing the bacteria for 2 months and subculturing every 10 days in L/2 culture medium (Lechevalier and Lechevalier, 1990)<sup>19</sup>. Packed cells produced were diluted in a saline solution (1:1). One mL of the suspension was injected into the rooting zone of each seedling to be inoculated. Control seedlings did not receive any inoculum. No mineral fertilizer was added. There were four pots with two plants each per treatment.

Pots were randomized on a greenhouse bench. During the experiment, the temperature was variable from day to day ranging from 14 to 30° C. Daylight was extended to 12 h using daylight (40 W) fluorescent tubes over the pots. Every other day, distilled water was added to each pot at field capacity.

Eighteen weeks after the inoculation all seedlings were harvested. Plant volume was determined according to the formula  $HD^2$  (Ruehle *et al.*, 1984<sup>20</sup>; Hatchell *et al.*, 1985<sup>21</sup>) and the shoot dry mass registered as soon as a constant mass was obtained after an oven dry period at 80°C for 48 hours.

The root colonization level by arbuscular mycorrhizae was assessed on 1-cm root segments following the technique of clearing and staining described by Phillips and Hayman (1970)<sup>22</sup>. Stained root segments were mounted in lactophenol and observed under a photomicroscope for the presence or absence of fungal propagules. Percent of ectomycorrhizal feeder roots was determined after taking a photocopy of the whole radical system, previously washed with tap water to remove all soil particles (Marx *et al.*, 1991)<sup>23</sup>. The total number of short roots was determined on each seedling and the percentage of ectomycorrhizal roots calculated. In addition, thin sections of short roots, stained with cotton blue, were examined under a photomicroscope to verify the presence of ectomycorrhizae.

The data were subjected to analysis of variance (ANOVA). Percent data were divided by 100 and multiplied by the arcsine to be analyzed using the repeated measures analyses of the General Linear Model procedure (SAS Institute, 1982)<sup>24</sup>.

<sup>19</sup> Lechevalier, M. P. and H.A. Lechevalier, 1990. Systematics, Isolation, and Culture of *Frankia*. In: The Biology of *Frankia* and Actinorrhizal Plants, pp. 35-60.

<sup>20</sup> Ruehle, J. L.; D. H. Marx and H. D. Muse. 1984. Calculated non destructive indices of growth response for young pine seedlings. *Forest Sci.* 30: 469-474.

<sup>21</sup> Hatchell, G. E.; C. R. Berry and H. D. Muse. 1985. Non destructive indices to above ground biomass of young loblolly and sand pines on ectomycorrhizal and fertilizer plots. *Forest Sci.* 31: 419-427.

<sup>22</sup> Phillips, J. M. and D. S. Hayman. 1970. Improved procedure for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 55: 158-161.

<sup>23</sup> Marx, D. H.; J. L. Ruehle and C. E. Cordell. 1991. Methods for studying nursery and field response of trees to specific ectomycorrhiza. In: *Methods in Microbiology*, Vol. 23, pp 383-411.

<sup>24</sup> SAS Institute. 1982. SAS User's Guide: Statistics.

## RESULTS AND DISCUSSION

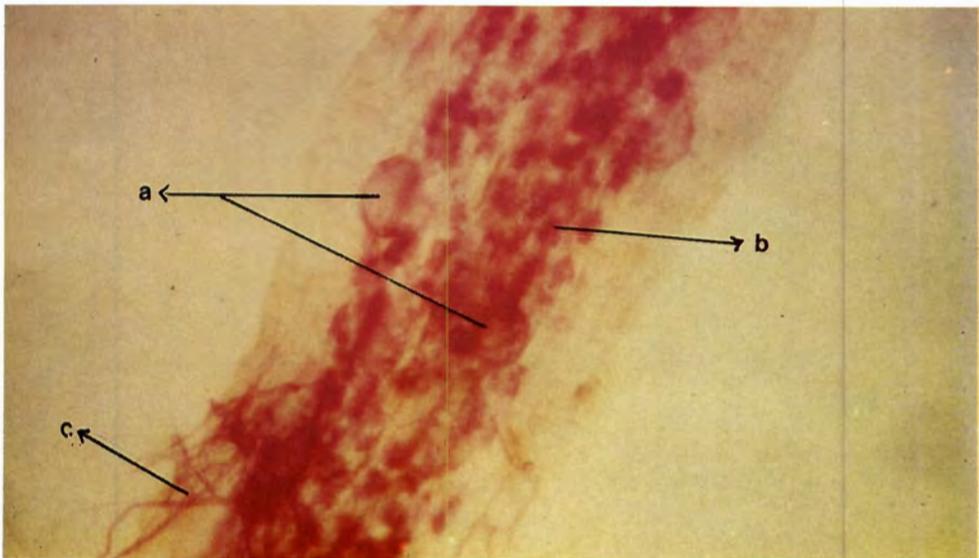
Seedlings of *A. acuminata* ssp. *glabrata* were successfully colonized with the native *Frankia* strain no. 1801H, the indigenous ectomycorrhizal fungus, *P. tinctorius*, and two different endomycorrhizal fungi, *G. versiforme* and *Glomus* sp. Figure N° 1a and 1b illustrate the presence of arbuscular mycorrhiza produced by *G. versiforme* and Figure N° 2 shows the ectomycorrhizal mantle and the Hartig net produced by *P. tinctorius*.

The *Frankia* strain, from the nodules of *A. jorullensis*, induced the formation of normal root nodules on *A. acuminata* which indicates a compatibility between the microendosymbiont and the host plant. It also confirms the **diagnostic** feature of the bacterial genus to induce the formation of nitrogen-fixing nodules. Root colonization (28 to 90%) by the endomycorrhizal fungi used demonstrates that this fungal symbiont is compatible with *A. acuminata* host plants. The presence of ectomycorrhizal root tips and of a stained fungal mantle state the ability of *P. tinctorius* to colonize alder roots. Control plant roots were free of nodule and mycorrhiza. These results support the fact that either ecto- or endomycorrhizal fungi can colonize alder tree roots under natural conditions. Sometimes, both type of mycorrhizal fungi are found to cohabit the same root (Cruz-Cisneros and Valdés, *op. cit.*).

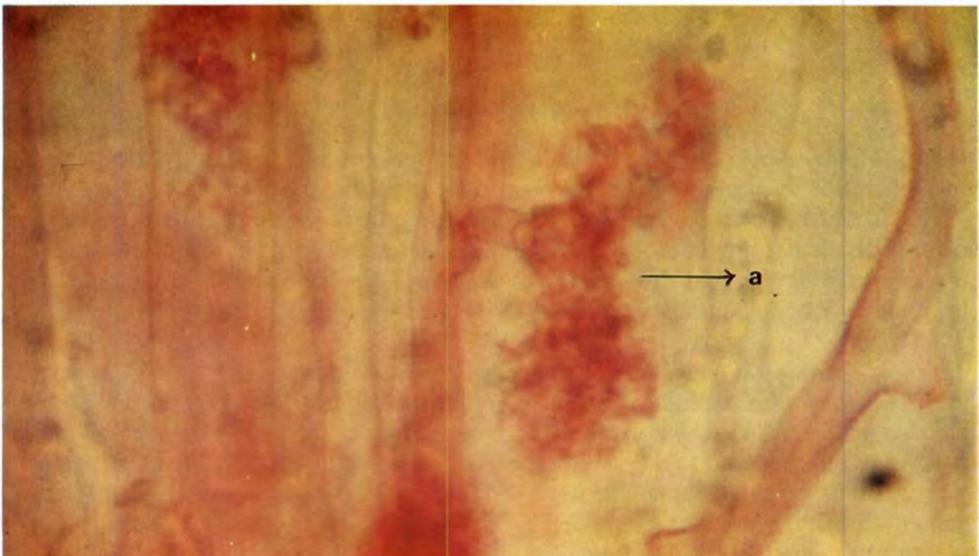
Table N° I compares the data for shoot volume and dry mass, the relative growth enhancement compared to the control, the number of nodules, and the root colonization by either one of the mycorrhizal fungi, ecto- or endo-, of alder seedlings inoculated with *Frankia*. Shoot volume was significantly greater ( $P = 0.0002$ ) when seedlings were inoculated with either *P. tinctorius* or *G. versiforme* combined with the *Frankia* strain no. 1801H and compared to all other treatments. Single symbiont inoculation, except with *Glomus* sp., produced a greater shoot volume compared to the control.

Plant growth performance in terms of shoot dry mass was significantly greater ( $P = 0.002$ ) when host plants were inoculated with the *Frankia* strain and either one of the mycorrhizal fungi *P. tinctorius* or *G. versiforme* (Table N° I). Seedlings inoculated with single symbionts, except with *Glomus* sp., had a shoot dry mass significantly greater compared to the control. In terms of shoot biomass productivity, Visser *et al.* (1990)<sup>25</sup> reported a yield increase by a factor of 4 and 5 for *Shepherdia canadensis* and *Elaeagnus communata*, respectively, compared to uninoculated treatments.

<sup>25</sup> Visser, S.; R. M. Danielson and D. Parkinson. 1990. Field performance of *Elaeagnus communata* and *Shepherdia canadensis* (Elaeagnaceae) inoculated with soil containing *Frankia* and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. Can. J. Bot. 69: 1321-1328.



**Figure N° 1a.** Roots of *Alnus acuminata* ssp. *Glabrata* colonized by *Glomus versiforme* stained with fucine acid. a) vesicles, b) arbuscules, c) hyphae. 10X.  
a) arbuscule. 100X. Fucine acid dye.



**Figure N° 1b.** Roots of *Alnus acuminata* ssp. *Glabrata* colonized by *Glomus versiforme* stained with fucine acid. a) arbuscule. 100X. Fucine acid dye.



**Figure N° 2.** Feeder roots of *Alnus acuminata* ssp *glabrata* colonized by *Pisolithus tinctorius* stained with fucine acid. a) fungal mantle, b) vascular tissue, c) cortical cells. 40X.

Nodules were observed in 3 treatments out of 4 inoculated. The greater number being obtained in presence of the *P. tinctorius* ectomycorrhizal fungus (Table N° 1). Meanwhile, *G. versiforme* did not have any effect on the number of nodules formed on *Alnus acuminata* root system. In the present study, there is no relation between the number of nodules produced and the shoot dry mass registered. However, Visser *et al.* (*op. cit.*) have observed a strong correlation between the actinorrhizal shrubs yield and the number of nodule formed.

This study shows the potential of the tripartite association, either *P. tinctorius* or *G. versiforme* combined with the *Frankia* strain no. 1801H on *A. acuminata* plants. Plant biomass increase due to the synergism resulting from this double symbiosis is quite striking when compared to the relative growth enhancement of *Alnus* plants inoculated with a single symbiont or to the control (Table N° 1). Meanwhile, the indigenous endomycorrhizal fungus *Glomus* sp. did not respond as well as the *G. versiforme* one, very likely due to a lack of compatibility with *A. acuminata* host plants. This emphasizes the necessity of comparing the effect of different fungal symbionts when testing new host plants for reforestation or land reclamation.

TREATMENT	SHOOT			NODULE	ROOT
	Volume (cm <sup>3</sup> )	Dry mass (g)	RGE*	Number	Colonization (%)
Control	0.344a	0.206a	—	0	0
<i>Frankia</i> no. 1801H	0.980b	0.329b	+ 60%	4b	0
<i>Pisolithus tinctorius</i>	1.001b	0.319b	+ 55%	0	46
<i>Glomus versiforme</i>	0.899b	0.338b	+ 64%	0	66
<i>Glomus</i> sp.	0.659ab	0.248a	+ 20%	0	30
<i>Frankia</i> no. 1801H +					
<i>Pisolithus tinctorius</i>	2.576d	0.601c	+ 192%	14c	55
<i>Frankia</i> no. 1801H +					
<i>Glomus versiforme</i>	1.911c	0.580c	+ 182%	3b	90
<i>Frankia</i> no. 1801H +					
<i>Glomus</i> sp.	0.468a	0.214a	+ 4%	0	28

\* RGE = Relative growth enhancement compared to the control.

Means within a column followed by the same letter are not significantly different.

**Table N° 1.** Response of *Alnus acuminata* ssp. *glabrata* to different treatments.

The relative contribution of the mycorrhizal fungi and *Frankia* on host plant growth is merely explained by the fact that a strong tripartite interrelationship occurred which resulted in a greater biomass yield. Significant relationship between nodulation and plant biomass has been observed in actinorrhizal plants (Diem and Gauthier, 1982<sup>26</sup>; Huss-Danell, 1980<sup>27</sup>; Sougoufara *et al.*, 1989<sup>28</sup>; this study) suggesting that *Frankia* nodules are highly beneficial to plant N nutrition. On the other hand, according to the summarized studies in Daft *et al.* (*op. cit.*), ecto and endomycorrhiza could enhance the actinorrhizal nodulation and nitrogen fixation by satisfying the high phosphorous demand required for these processes.

<sup>26</sup> Diem, H. G. and D. Gauthier. 1982. Effect de l'infection endomycorhizienne (*Glomus mosseae*) sur la nodulation et la croissance de *Casuarina equisetifolia*. C. R. Hebd. Séances Acad. Sci., Ser. C 294: 215-218.

<sup>27</sup> Huss-Dannell, K. 1980. Nitrogen fixation and biomass production in clones of *Alnus incana*. New Phytol. 85:503-511.

<sup>28</sup> Sougoufara, B.; H. B. Diem and Y. R. Dommergues. 1989. Response of field-grown *Casuarina equisetifolia* to inoculation with *Frankia* strain ORS 021001 entrapped in algininate beads. Plant Soil 118:133-137.

## ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank Dr. Valentin Furlan for providing the endomycorrhizal fungus and for valuable criticism and suggestions to the manuscript. Financial support for this research was provided in part by the US National Academy of Sciences/National Research Council by means of a grant from the US Agency for International Development.

## REFERENCES

- Anaya, A. L.; L. Ramos; R. Cruz; J. G. Hernández and V. Nava. 1987. Perspectives on allelopathy in Mexican traditional agroecosystems: a case study in Tlaxcala. *J. Chem. Ecol.* 13: 2083-2101.
- Baker, D. 1990. Actinorhizal plants: underexploited trees and shrubs for forestry and agroforestry. *Nitrogen Fixing Tree Res. Rep.* 8: 3-7.
- Baker, D. D. and C. R. Schwintzer. 1990. Introduction. *In: The Biology of Frankia and Actinorhizal Plants. Edited by C.R. Schwintzer and J.D. Tjepkema.* Academic Press, London. pp 3-11.
- Cruz-Cisneros, R. and M. Valdés. 1990. Ecological aspects of the actinorhizal plants growing in the basin of Mexico. *Nitrogen Fixing Tree Res. Rep.* 8: 42-47.
- Daft, M. J.; D. M. Clelland and I. C. Gardner. 1985. Symbiosis with endomycorrhizas and nitrogen-fixing organisms. *Proc. R. Soc. Edinb. Sect. 85:* 283-298.
- Dawson, J. O. 1986. Actinorhizal Plants: Their use in forestry and agriculture. *Outl. Agr.* 15: 202-207.
- Diem, H. G. and D. Gauthier. 1982. Effect de l'infection endomycorhizienne (*Glomus mosseae*) sur la nodulation et la croissance de *Casuarina equisetifolia*. *C. R. Hebd. Séances Acad. Sci., Ser. C* 294: 215-218.
- Fraga-Beddiar, A. and F. Le Tacon. 1990. Interactions between a VA mycorrhizal fungus and *Frankia* associated with alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.). *Symbiosis* 9: 247-248.

- Furlow, J. J. 1979a. The systematics of the American species of *Alnus* (Betulaceae) I. *Rhodora* 81: 1-121.
- \_\_\_\_\_. 1979b. The systematics of the American species of *Alnus* (Betulaceae) II. *Rhodora* 81: 151-248.
- Hatchell, G. E.; C. R. Berry and H. D. Muse. 1985. Non destructive indices to above ground biomass of young loblolly and sand pines on ectomycorrhizal and fertilizer plots. *Forest Sci.* 31: 419-427.
- Huss-Dannell, K. 1980. Nitrogen fixation and biomass production in clones of *Alnus incana*. *New Phytol.* 85:503-511.
- Lechevalier, M. P. and H.A. Lechevalier, 1990. Systematics, Isolation, and Culture of *Frankia*. In: *The Biology of Frankia and Actinorrhizal Plants. Edited by C.R. Schwintzer and J.D. Tjepkema.* Academic Press, London. pp. 35-60.
- Marx, D. H. and D. S. Kenney. 1982. Production of ectomycorrhizal fungus **innoculum**. In: *Methods and Principles of Mycorrhizal Research. Edited by N. C. Schenck.* APS, St. Paul, MN, USA. pp. 131-146.
- Marx, D. H.; J. L. Ruehle and C. E. Cordell. 1991. Methods for studying nursery and field response of trees to specific ectomycorrhiza. In: *Methods in Microbiology, Vol. 23. Edited by J.R. Norris, D.J. Read and A.K. Varma.* Academic Press, London. pp 383-411.
- Mejstrik, V. and V. Benecke. 1969. The ectotrophic mycorrhizae of *Alnus viridis* (Chaix) D.C. and their significance in respect to phosphorous uptake. *New Phytol.* 68: 141-149.
- Paschke, M. W.; J. O. Dawson and M. B. David. 1989. Soil nitrogen mineralization in plantations of *Juglans nigra* interplanted with actinorrhizal *Elaeagnus umbellata* or *Alnus glutinosa*. *Plant Soil* 118: 32-42.
- Phillips, J. M. and D. S. Hayman. 1970. Improved procedure for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 55: 158-161.
- Rose, S. A. and C. T. Youngberg. 1981. Tripartite association in snowbrush (*Ceanothus elutinus*): Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizae on growth, nodulation, and nitrogen fixation. *Can. J. Bot.* 59: 34-39.
- Ruehle, J. L.; D. H. Marx and H. D. Muse. 1984. Calculated non destructive indices of growth response for young pine seedlings. *Forest Sci.* 30: 469-474.

- SAS Institute. 1982. SAS User's Guide: Statistics. SAS Institute, Cary, NC.
- Sougoufara, B.; H. B. Diem and Y. R. Dommergues. 1989. Response of field-grown *Casuarina equisetifolia* to inoculation with *Frankia* strain ORS 021001 entrapped in algininate beads. *Plant Soil* 118:133-137.
- Tarrant, R. F. 1983. Nitrogen fixation in North American forestry: Research and Application. *In: Biological Nitrogen Fixation in Forest Ecosystems: Foundations and Applications. Edited by J. C. Gordon and C. T. Wheeler. Nijhoff/Junk Publ., The Hague. pp 261-277.*
- Trappe, J. M. 1979. Mycorrhizae - nodule - host interrelationships in symbiotic nitrogen fixation: A quest in need of questers. *In: Symbiotic nitrogen fixation in the management of temperate forest. Edited by C. Gordon, C.T. Wheeler and D.A. Perry. Oregon State University, Corvallis, OR, USA. pp. 276 - 286.*
- Valdés, M.; H. Ramírez-Saad; G. Guillén; R. Del Valle y N. Serna. 1991. Algunas características morfológicas y fisiológicas de *Frankia* aislada de *Alnus* y *Casuarina*. *Rev. Latinoam. Microbiol.* 33: 271-277.
- Van Sambeek, J. W.; R. C. Schlesinger; F. Ponder and W. J. Rietveld. 1985. Actinorhizal species as a nurse crop for black walnut. *In Central Harwood Forest Conference. Edited by J.O. Dawson and K.A. Maajeurs. University of Illinois, Urbana, IL, USA. pp 257-263.*
- Visser, S.; R. M. Danielson and D. Parkinson. 1990. Field performance of *Elaeagnus communata* and *Shepherdia canadensis* (Elaeagnaceae) inoculated with soil containing *Frankia* and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Can. J. Bot.* 69: 1321-1328.

# EVALUACIÓN DE CUATRO INTENSIDADES DE PODA EN UNA PLANTACIÓN DE *Pinus patula* Schl. et. Cham. EN LA REGIÓN DE HUAYACOCOTLA, VERACRUZ.

Domínguez Álvarez F. Alberto <sup>1</sup>  
Rodríguez Acosta Melchor <sup>2</sup>  
Mallén Rivera Carlos <sup>2</sup>

## RESUMEN

En una plantación de *Pinus patula* Schl. et. Cham., con una edad aproximada de siete años, localizada en el Municipio de Huayacocotla, estado de Veracruz, se aplicaron cuatro intensidades de poda en un diseño experimental de Bloques Completos al Azar, para evaluar los efectos sobre el crecimiento en altura y diámetro.

El experimento se realizó en una área de 0.6 ha, dividida en tres bloques con una superficie de 0.2 ha, cada uno; éstos se fraccionaron en doce parcelas de 500 m<sup>2</sup>. Se aplicaron cuatro tratamientos (intensidad de poda) con tres repeticiones. Los tratamientos consistieron en podar los árboles a diferentes alturas: **A:** 2.50 m, **B:** 3.30 m y **C:** 4.00 m, el tratamiento **D** sin poda (testigo).

A un año de haber aplicado los tratamientos de poda, se realizó la evaluación para determinar los efectos de las diferentes intensidades de poda. Estadísticamente no se registraron efectos para la altura y el diámetro. Parte del crecimiento obtenido es el resultado de la eliminación de las ramas inferiores, que consumen más carbohidratos que los que producen y al podarlas éstos se distribuyen en el resto del árbol, encausándose principalmente a las yemas terminales.

Al realizar un análisis de los resultados obtenidos en el período 1988-1989, se llegó a las siguientes conclusiones: las diferentes intensidades de poda influyeron en la altura, provocando una disminución en el ritmo del crecimiento, siendo directamente proporcional a la intensidad de aplicación durante el primer año. Para el diámetro no se encontró respuesta alguna, ya que conservó su ritmo de incremento en comparación

<sup>1</sup> M.C. Director de la División Forestal del CIR Golfo Centro, INIFAP, SAGAR.

<sup>2</sup> Ing. For. Investigador del C.E. Ixtacuaco, INIFAP, SAGAR.

con el testigo, esta ausencia de incremento se debe a que el árbol tiende a crecer primero en altura y posteriormente en diámetro.

En la evaluación más reciente (1996), se encontró que los tratamientos que promovieron un mayor incremento en altura fueron los de 4.00 m (C) y de 3.30 m (B). Sin embargo, se percibe un decremento en diámetro, por efecto de la poda, posiblemente influenciado por la alta densidad de la plantación.

Es recomendable podar plantaciones de *Pinus patula* de 7 a 8 años de edad, con 8.5 m de altura y 12.0 cm de diámetro, a una altura mínima de 2.5 m y a una máxima de 4.00 m, en combinación con un aclareo.

Palabras clave: *Pinus patula*, intensidad de poda, Huayacocotla, Veracruz.

## SUMMARY

An application of different pruning intensities in a plantation of seven years old of *Pinus patula* was carried out, in order to evaluate the effects of four pruning intensities on growth in height and diameter.

A random completely blocks was used on 0.6 ha area, which was divided in 0.2 ha each one; those were divided in twelve parcels of 500 m<sup>2</sup>. Four treatments with three repetitions were applied named **A** for pruning at 2.50 m, **B** for 3.30 m and **C** for 4.00 m. A treatment called **D** was considered the witness.

A second evaluation to determine the effects of these intensities of pruning was made. From the statistical point of view there was none effect on height and diameter. Obtained growth from applications was a consequence of lower branches elimination which consume greater carbohydrates that they produce them. When we apply different pruning intensities we are redistribution the carbohydrates on the rest of tree.

In the most recent evaluation (1996), to register the treatments to promote the best increment in height and diameter was the C (4.00 m) and B (3.30 m). However, perceived a decrement in diameter, probably by the high density of the plantation.

Is recommendable, to prune *Pinus patula* plantations of seven to eight years old, with 8.5 m of height and 12.0 cm of diameter, a minimum height prune of 2.5 m and maximum height prune of 4.0 m, in combination whit a clearcut.

Key words: *Pinus patula*, pruning intensities, Huayacocotla,, Veracruz State.

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas de cultivo aplicados en plantaciones forestales, cuyo objetivo es alcanzar productos finales de alta calidad con ganancias superiores, deben considerar la aplicación de esquemas de poda como una corta intermedia indispensable, para incrementar la calidad y el valor de la madera. Al aplicarse al arbolado en sus primeras fases de desarrollo, provocan una respuesta fisiológica que influye sobre el crecimiento en altura y diámetro, como una práctica cultural para la prevención de incendios y el control de enfermedades fungosas.

Las poblaciones naturales de *Pinus patula*, tienden a crecer en forma "cerrada", por carecer de la capacidad de "autopoda", obteniéndose con ello un producto final con características anatómicas y tecnológicas indeseables, ya que los "nudos" que forman las ramas afectan la calidad de la madera.

Con el objeto de estudiar la influencia que tiene la aplicación de podas, en el crecimiento de los árboles para obtener un producto final de mayor valor, se aplicaron cuatro tratamientos con diferentes intensidades de poda; para seleccionar el tratamiento más adecuado, que proporcione un producto final óptimo sin afectar drásticamente el crecimiento del arbolado.

## ANTECEDENTES

El objetivo primordial de la poda es producir madera libre de nudos, con un mayor valor económico. Entre los objetivos secundarios sobresalientes se pueden mencionar los siguientes:

1. Prevención de incendios forestales
2. Prevención de daños por plagas y/o enfermedades
3. Mejorar el acceso a las plantaciones, para facilitar las actividades de selección del arbolado y aplicación de aclareos
4. Utilización de las ramas como leña combustible

En general, las coníferas se caracterizan por una muerte y desprendimiento muy tardío de las ramas inferiores, situación que provoca la formación de grandes nudos muertos en detrimento de la calidad de su madera. La poda natural, aún manejando la densidad adecuada para promoverla, es totalmente antieconómica para producir madera libre de

nudos (Fielding, 1964)<sup>3</sup>, de tal manera que la poda artificial es la única práctica silvícola aceptable para mejorar la calidad de la madera en cuanto a nudos.

## Podas en *Pinus patula* Schl. et Cham.

Las ramas de *Pinus patula* son persistentes y la poda natural casi no ocurre. Look (1950), citado por Wormald (1975)<sup>4</sup>, notó en un experimento plantado a espacio cerrado (1.80 m), que después de ocho años, las ramas vivas se encontraron a solamente un metro del nivel del suelo.

Adlard (1964<sup>5</sup> y 1969<sup>6</sup>), y Lucknoff (1949)<sup>7</sup>, notaron un pequeño pero significativo decremento en el crecimiento en altura con podas muy severas (removiendo aproximadamente el 75% de la copa), en el primer año después del tratamiento, pero para el segundo año, los incrementos en altura no fueron significativamente diferentes. También notaron que la influencia de la poda en el incremento anual está relacionada con la intensidad de ésta.

Karani (1978)<sup>8</sup>, en un estudio realizado en Uganda, combinó poda con aclareos en plantaciones de *Pinus patula*, reportó que los árboles dominantes podados a diferentes intensidades pasaron a formar parte de los árboles codominantes en densidades de plantación de 150 y 200 árboles/ha. La remoción de las ramas vivas hasta un 25 % de la altura total, no tuvo un efecto significativo en el incremento en diámetro en densidades de 150, 250, 750 árboles/ha; en contraste, causó una fuerte disminución en el incremento en diámetro, a una densidad de 1,500 árboles/ha. El autor concluye que es indispensable la combinación de podas con aclareos para favorecer el desarrollo de los árboles selectos, de tal manera que la pérdida de área foliar se compense con la disminución de la competencia.

Galloway (1978)<sup>9</sup>, menciona que en África del Sur la eliminación del 35% de copa no presentó efectos, pero con un 75% si los hubo, además recomienda podar sólo el 40% de copa viva para no afectar el crecimiento en altura.

---

<sup>3</sup> Fielding, J. M. 1964. The pruning of plantation pines. *Comm. For. Rev.* 43(4): 303-314.

<sup>4</sup> Wormald, T. J. 1995. *Pinus patula*.

<sup>5</sup> Adlard, P. G. 1964. Pruning trial Dedza Mountain Forest, Malawi. *Comm. For. Rev.* 43(4): 339-349.

<sup>6</sup> Adlard, P. G. 1969. Quantitative effects of pruning *Pinus patula* in Malawi.

<sup>7</sup> Lucknoff, H. A. 1949. The effect of live pruning of the growth of *Pinus patula*, *P. caribaea* and *P. taeda*. pp. 25-55.

<sup>8</sup> Karani, P. K. 1978. Pruning and thinning in a *Pinus patula* stand at Lendu Plantation, Uganda. *Comm. For. Rev.* 57(4): 269-278.

<sup>9</sup> Galloway, G. 1987. Criterios y estrategias para el manejo de plantaciones forestales en la sierra Ecuatoriana.

Para el diámetro Adlard (*op. cit.*), estableció que la diferencia entre el tratamiento del 50% de poda, y el testigo no fue significativa después del segundo año.

Lucknoff (*op. cit.*), concluyó que la diferencia absoluta entre el tratamiento de 50% y el testigo, fué significativamente constante después de seis años, aunque la diferencia en el incremento anual cesó para ser significativa después del tercer año.

Karani (*op. cit.*), observó un fuerte efecto de la poda sobre el crecimiento en diámetro. La poda de un 25% de copa viva, no mostró ningún efecto significativo a densidades de 150, 250 y 750 árboles por hectárea, pero en la densidad de 1,500 árboles/ha. se presentó una fuerte disminución. La poda de un 50% de la altura total, disminuyó el incremento del diámetro en todas las densidades, con un 75% de poda se provocó una depresión en el incremento en diámetro más fuerte.

Galloway (*op. cit.*), reporta que con un 35% de poda no existe un efecto significativo en el diámetro, con un 50% se presentó una influencia importante, con el 75% la respuesta fue altamente negativa.

Una consecuencia positiva en la reducción de la tasa de crecimiento por efecto de la poda, es el aumento de la densidad de la madera. La poda incrementa la tendencia natural de los árboles de desarrollar madera más dura conforme aumenta la edad, al promover la producción de anillos más delgados con madera mas densa. Para que la poda tenga un efecto claro en la densidad de la madera, debe ser severa, arriba de la mitad de la altura total (Karani, *op. cit.*).

En relación a la altura de poda, se ha determinado en base a las experiencias logradas en algunos países de África con *Pinus patula*, que el rango recomendable de poda es de 25 a 40% de la copa viva del arbolado (Romo, 1991)<sup>10</sup>.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Descripción del área de estudio.** El municipio de Huayacocotla, se encuentra enclavado en la Sierra Madre Oriental en la parte noroeste del estado de Veracruz, a una altitud de 2,200 msnm, con clima del tipo C (templado subhúmedo, lluvias en verano y nieblas frecuentes), con una temperatura media anual del mes más frío entre 3 y 8° C y la del mes más caliente, mayor de 16.5° C. El mes más frío es enero y el más

<sup>10</sup> Romo, G. D. 1991. Diferentes intensidades de poda en una plantación de *Pinus patula* Schl. et Cham. En la región de Huayacocotla, Ver.

caliente es mayo, presentándose heladas en invierno. La precipitación media mensual varía de 633.9 a 1,385.1 mm, y se distribuye en los meses de junio a octubre, registrándose dos máximos pluviométricos uno en junio y el otro en septiembre. Los meses más secos son de febrero a mayo. La ausencia de humedad es compensada por nieblas frecuentes, registrándose de 37 a 239 días con niebla durante el año (Romo, *op. cit.*).

Los suelos se originan a partir de rocas sedimentarias, principalmente lutitas y areniscas, presentando una textura franco-arcillosa. Tienen un drenaje superficial rápido y lento en el interior, el primero por las altas cantidades de humus y el segundo por la textura arcillosa predominante. Los principales suelos son: Feosem lúvico, con una capa rica en materia orgánica en nutrientes, son muy permeables, y Vertisol pélico de tipo arcilloso, de textura fina e impermeables (Romo, *op. cit.*).

**Localización del sitio experimental.** La plantación objeto de la investigación se estableció en 1981, de tal forma que al momento de aplicar los tratamientos de poda tenía siete años de edad. Se localiza a 500 m de la carretera que va del poblado de Huayacocotla al ejido de San Josesito Acantilado. Las características de la plantación motivo del estudio son: espaciamiento de 2 x 2 m, con una densidad de 2,500 árboles/ha.

**Diseño Experimental.** El ensayo se estableció utilizando el diseño experimental de **Bloques Completos al Azar** y la pendiente como factor de bloqueo. La superficie de 0.6 ha se dividió en tres bloques de 0.2 ha y a su vez cada uno de ellos se fraccionó en cuatro unidades experimentales de 500 m<sup>2</sup> cada una, en donde se aplicaron aleatoriamente cuatro tratamientos: el **A**, donde la poda se aplicó a 2.50 m de altura, el **B** a 3.30 m y el **C** a 4.00 m, al tratamiento **D** no se aplicó poda para utilizarlo como testigo en las evaluaciones subsecuentes.

Para determinar la altura de poda, se usaron pértigas graduadas a las longitudes referidas. Tomando como referencia la base de los árboles, se colocaron junto a los fustes y las ramas localizadas por abajo de las marcas, se eliminaron con sierra de arco. Posteriormente se realizó un diagnóstico para conocer las condiciones del área tratada. Los materiales empleados fueron: cinta diamétrica, cinta métrica, cuerda compensada, brújula, altímetro, sierra de arco, machetes y pintura. Las variables evaluadas fueron: diámetro normal, altura podada y total. Los datos de control que se registraron fueron altitud, exposición y pendiente. Se realizaron tres evaluaciones, la primera al momento de aplicar la poda, la segunda un año después de aplicados los tratamientos y la tercera cuando la plantación tenía 15 años de edad. La base de datos fue analizada mediante el análisis de varianza, y la prueba de comparación de medias de Tukey en un ordenador personal con el paquete estadístico SAS.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro N° 1 se presentan los parámetros dasométricos del área experimental, al momento de aplicar las podas (1988) y la evaluación realizada un año después (1989).

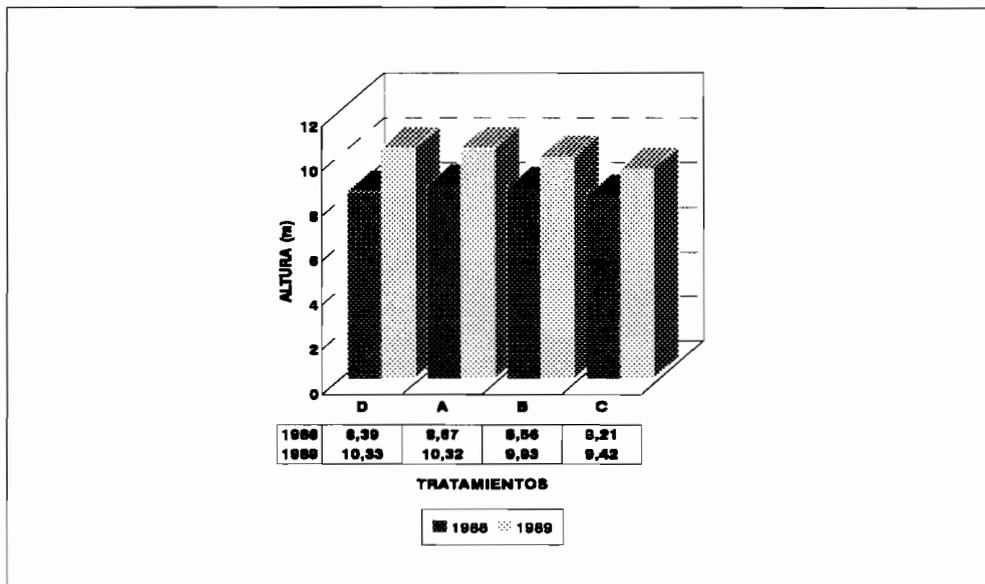
Estadísticamente no se encontró diferencia significativa para la altura y el diámetro, de acuerdo a los resultados obtenidos por el análisis de varianza para ambas variables en la primera evaluación del ensayo (1989).

El crecimiento obtenido es una respuesta a la eliminación de las ramas inferiores, que consumen más carbohidratos que los que producen y al podarlas éstos se distribuyen en el resto del árbol, encausándose principalmente a las yemas terminales. En las Figuras Nos. 1 y 2 se presenta gráficamente el comportamiento del diámetro y altura.

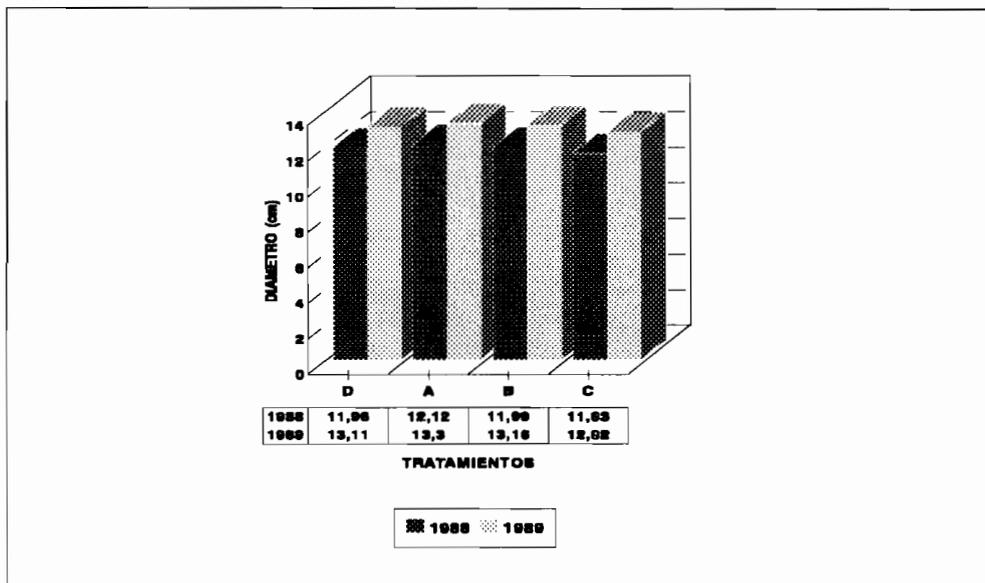
TRATAMIENTO INTENSIDAD DE PODA	1988				1989			
	D.N. (cm)	I.M.A. D.N. (cm)	A.T. (m)	I.M.A. A.T. (m)	D.N. (cm)	I.M.A. D.N. (cm)	A.T. (m)	I.M.A. A.T. (m)
A (2.50 m)	12.12	1.73	8.67	1.24	13.30	1.66	10.32	1.29
B (3.30 m)	11.99	1.71	8.56	1.22	13.16	1.65	9.93	1.24
C (4.00 m)	11.63	1.66	8.21	1.17	12.82	1.60	9.42	1.18
D (0.00 m)*	11.96	1.71	8.39	1.20	13.11	1.64	10.33	1.29

\* Testigo (Sin poda)

**Cuadro N° 1.** Comparación de parámetros dasométricos, producto de la aplicación de cuatro intensidades de poda, en una plantación de *Pinus patula*, Schl. et Cham. (1988-1989).



**Figura N° 1.** Crecimiento en altura por efecto de las podas.



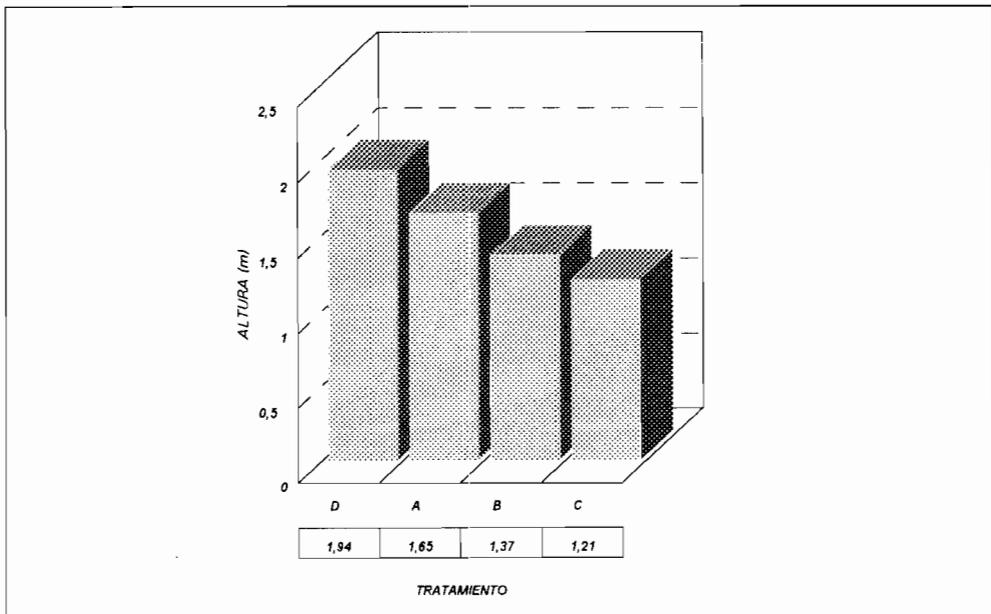
**Figura N° 2.** Crecimiento en diámetro por efecto de las podas.

Se realizó un análisis detallado para describir el comportamiento de la plantación durante un año, para ello se determinaron las relaciones de proporción durante ese período, que tuvieron las variables en cada tratamiento respecto al testigo en ambos años, también se obtuvieron los incrementos corrientes y las tasas de incremento en ese período de tiempo, así como las relaciones de cada uno respecto al testigo.

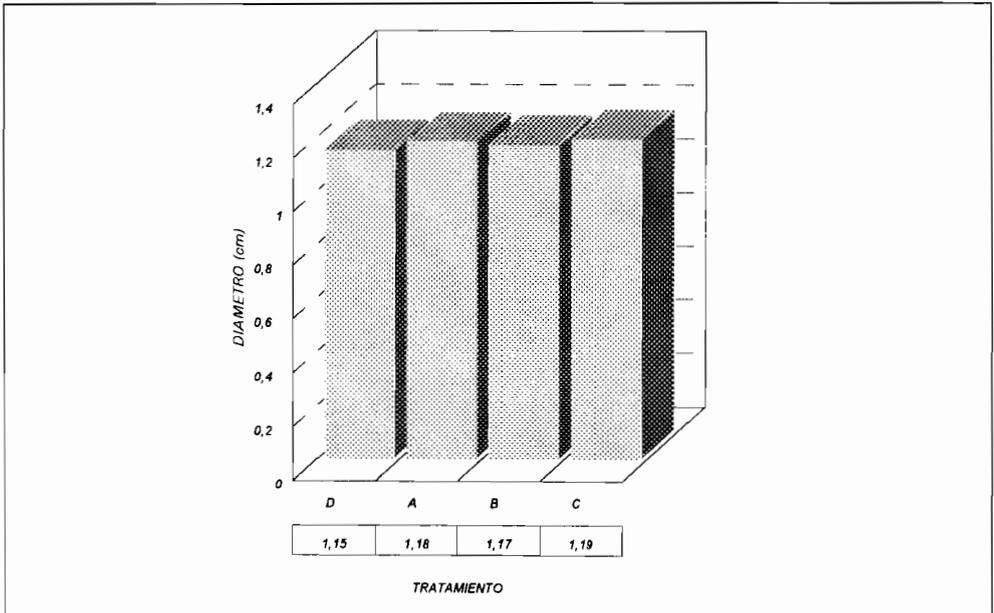
Con la información obtenida se calculó el incremento periódico en altura (1988-1989), para los tratamientos **D**, **A**, **B** y **C**, resultando 1.94, 1.65, 1.37 y 1.21 m, respectivamente: las tasas de incremento expresadas en porcentaje son: 23.12, 19, 16 y 14.73 (Figura N° 3)

En relación al diámetro, se observó que el incremento periódico (1988-1989) para los tratamientos **D**, **A**, **B** y **C** es de 1.15, 1.18, 1.17 y 1.19 cm, respectivamente; las tasas de incremento en ese orden son de 9.61, 9.73, 9.75 y 10.23%. (Figura N° 4).

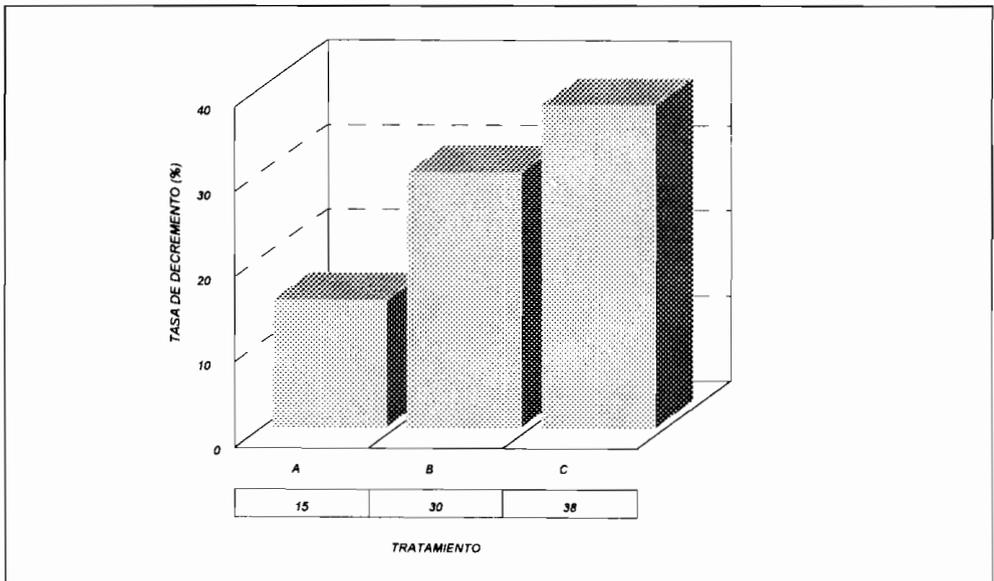
Al realizar la comparación de las relaciones de proporción de los tratamientos con el testigo en el período analizado, se encontró que la altura presentó una disminución del ritmo de crecimiento, de 15, 30 y 38% para los tratamientos **A**, **B** y **C**, respectivamente (Figura N° 5).



**Figura N° 3.** Incremento en altura 1988-1989.



**Figura N° 4.** Incremento en diámetro 1988.1989.



**Figura N° 5.** Decremento en altura por efecto de la intensidad de poda.

Se observa que la altura no conserva sus relaciones de proporción respecto al testigo, para los tratamientos **D**, **A**, **B** y **C**, respectivamente; en 1988 se registró: 100, 103, 102 y 97% y para 1989 se tienen 100, 99, 96 y 91%, mostrando un ligero decremento para ese periodo.

Analizando comparativamente los valores, se determinó que el diámetro conservó su relación de proporción, sin mostrar decrementos notorios por la aplicación de poda, 100, 101, 100 y 97% para los tratamientos **D**, **A**, **B** y **C**. En ambas variables no se detiene el crecimiento significativamente, únicamente la altura mostró una disminución directamente proporcional a la intensidad de poda (Figura N° 5)

El tratamiento que generó mejor respuesta por la aplicación de la poda en el periodo de un año fue el **A**, donde se registró la menor tasa de disminución del crecimiento (15% en promedio), después el **B**, cuya tasa de decremento es del 30%, por último el **C** con una tasa del 38% presentando un efecto negativo considerable. El tratamiento **A** en comparación con el testigo, tiene la ventaja de que proporciona una troza libre de nudos en un periodo de tiempo relativamente similar.

En todos los tratamientos, los árboles que respondieron favorablemente a la poda, son los de mayor altura; los de menor tamaño mostraron una reacción positiva casi imperceptible. Esto se debe a que, al aplicarse las podas había árboles dominantes, suprimidos y dominados, como la poda se aplicó a una altura fija en cada tratamiento, los árboles de menor talla fueron sobrepodados y los grandes subpodados, generándose una competencia desigual por estar dominados o suprimidos y por haberles eliminado parte de la copa viva, registrándose al final del año una mortalidad de 69 árboles dominados por causa de la poda.

La tercera evaluación se realizó en el año de 1996, cuando la plantación contaba con 15 años de edad. Las variables registradas fueron las mismas de las anteriores evaluaciones además de la altura de fuste limpio. En el Cuadro N° 2 se presentan los resultados obtenidos.

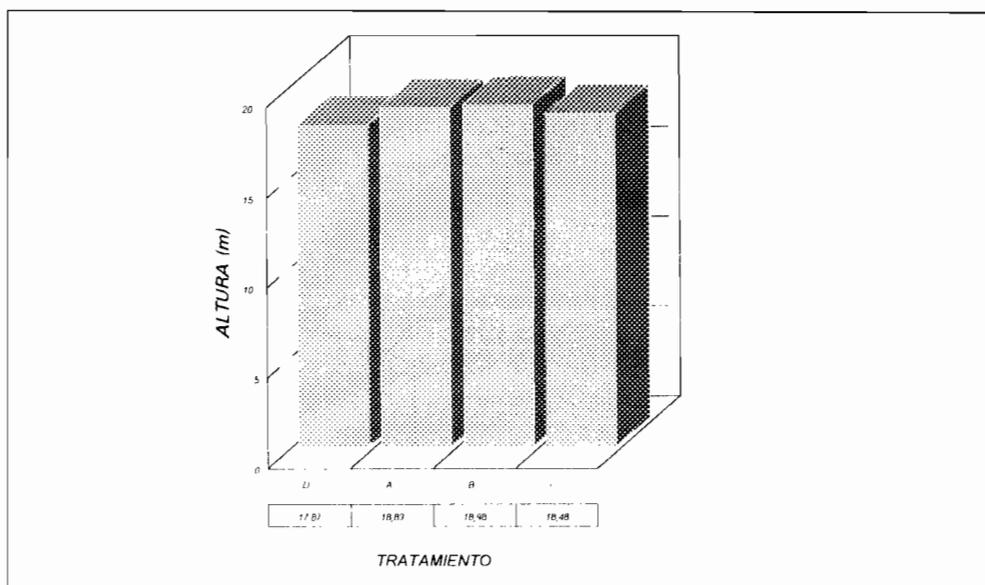
En el análisis de varianza en esta evaluación, se encontró diferencia estadística significativa para la variable **Altura Total** y para **Altura de Fuste Limpio**, determinándose mediante la prueba de comparación de medias de Tukey, que los tratamientos **A**, **B** y **C** tuvieron un efecto diferente respecto al testigo (Tratamiento **D**) para la variable **Altura Total** y los tratamientos **A**, **B** y **C** para la variable **Altura de Fuste Limpio**.

Observando el Cuadro N° 2, los incrementos en altura total por efecto de tratamientos de poda son superiores a los que alcanzó el testigo. En la Figura N°6, se presenta gráficamente el crecimiento en altura total alcanzado durante la vida de la plantación, donde se observa el mayor crecimiento por influencia de los tratamientos **B**, **A** y **C**, respectivamente.

donde se observa el mayor crecimiento por influencia de los tratamientos B, A y C, respectivamente.

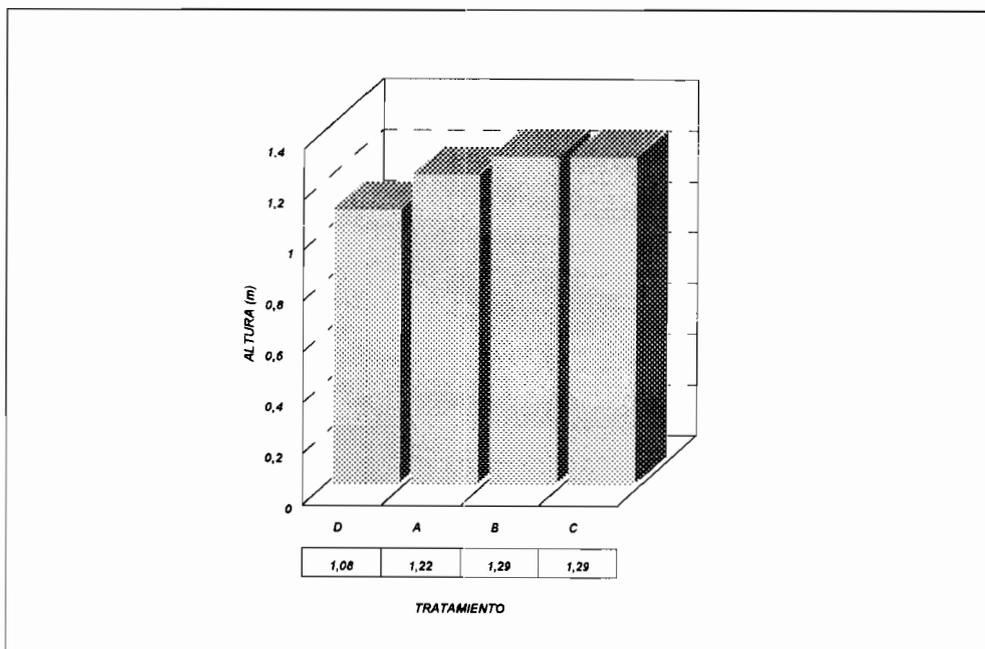
Tratamiento Int. de poda	D.N. (cm)	I.M.A. D.N. (cm)	A.T. (m)	I.M.A. A.T. (m)	A.F.L. (m)
A (2.50 m)	18.59	1.24	18.83 a	1.26	12.96 a
B (3.30 m)	18.53	1.24	18.98 a	1.27	12.67 ab
C (4.00 m)	18.58	1.24	18.48 a	1.23	12.49 b
D (0.00 m)	18.53	1.24	17.87 b	1.19	0.73 c

**Cuadro N° 2.** Parámetros dasométricos promedio producto de la aplicación de cuatro intensidades de poda, en una plantación de *Pinus patula*, Schl. et Cham. de 15 años de edad.



**Figura N° 6.** Crecimiento en altura 1981-1986.

El parámetro altura muestra un efecto altamente positivo en relación al incremento periódico del mismo y es posible aseverar que los tratamiento **C** (4.00 m) y **B** (3.30 m), son los que promovieron el mayor incremento en altura, durante el periodo evaluado de 7 años (Figura N° 7).



**Figura N° 7.** Incremento en altura 1989-1996.

Analizando el efecto de la poda sobre el incremento periódico, se observa que a 7 años de la segunda evaluación, el efecto de la poda en la altura total de los árboles es superior al testigo, como se muestra numéricamente en el Cuadro N° 3.

En contraste, el crecimiento en diámetro alcanzado por la plantación a los 15 años de edad, prácticamente se mantiene sin grandes variaciones, manifestando un crecimiento bastante homogéneo, quizás influenciado por la alta densidad de la plantación (Figura N° 8). En relación al diámetro normal, del cuadro anterior se determina que el tratamiento que logró el mayor incremento periódico durante 7 años, es el **C** (4.00 m), aunque estadísticamente no exista significancia en relación a los demás tratamientos (Figura N° 9).

Tratamiento Int. De poda	Dif. 1989-1996 D.N. (cm)	I. P. D.N. (cm)	Dif. 1989-1996 A.T. (m)	I.P. A.T. (m)
A (2.50 m)	5.29	0.76	8.51	1.22
B (3.30 m)	5.37	0.77	9.05	1.29
C (4.00 m)	5.76	0.82	9.06	1.29
D (0.00 m)	5.42	0.77	7.54	1.08

**Cuadro 3.** Comparación del incremento periódico por la aplicación de cuatro intensidades de poda en una plantación de *Pinus patula* Schl. et. Cham. de 15 años de edad.

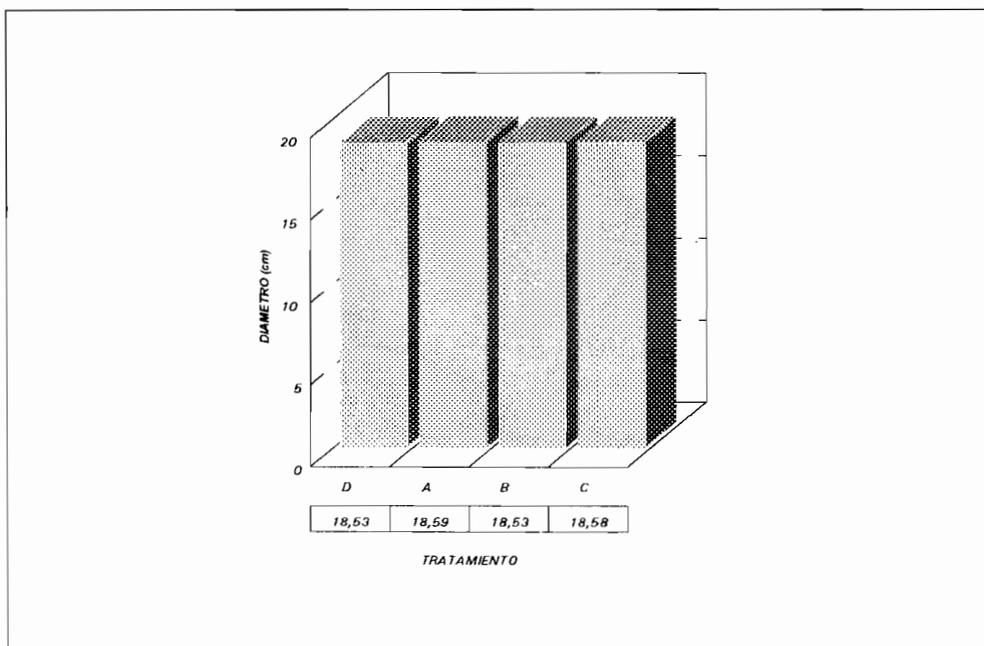


Figura N° 8. Crecimiento en diámetro 1981-1996.

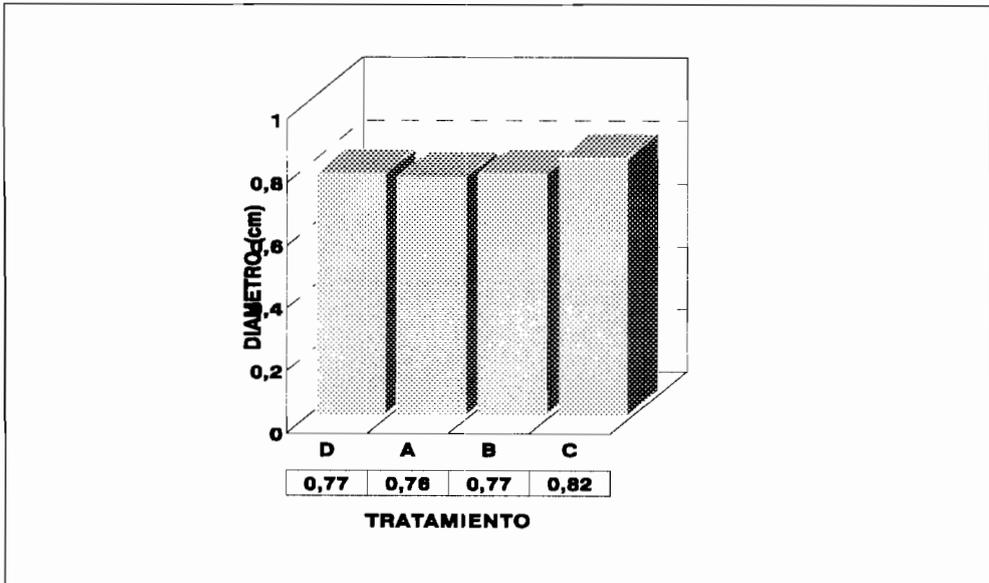


Figura N° 9. Incremento en diámetro 1989-1996.

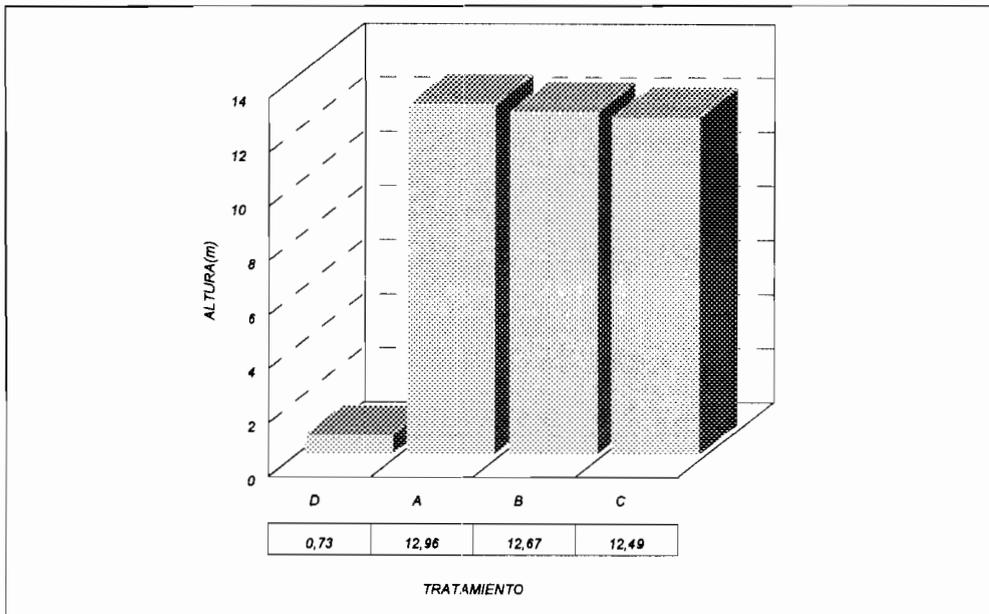


Figura N° 10. Altura promedio de fuste limpio por efecto de las podas.

Finalmente, una variable más que muestra en forma contundente la bondad de la aplicación de las podas es la de altura de fuste limpio, donde se observa que todos los tratamientos fueron exitosos. En el Cuadro N° 2, se presenta la formación de tres grupos de tratamientos con efecto diferente, el primero corresponde a los tratamientos **A** (2.5 m) y **B** (3.30 m) que presentaron la mayor altura de fuste limpio; enseguida los tratamientos **B** (3.30 m); **C** (4.00 m) y finalmente el testigo **D** (0.00 m) que presentó alturas de fuste limpio inferiores a 73 cm, comparados con las alturas de fuste limpio superiores a los 12 m de los demás tratamientos. Esta variable demuestra que la aplicación de podas es altamente redituable por la calidad de la trocería que se obtiene (Figura N° 10).

Un análisis global de los incrementos desde la primera evaluación (1988) hasta la más reciente (1996), presenta el incremento medio en diámetro con poca variación; situación similar se presenta con el incremento periódico, pero con tendencia decreciente, de esta forma se concluye que el efecto de los tratamientos de poda en diámetro provocó una disminución en el ritmo de incremento, posiblemente influenciado por la alta densidad de plantación, resultado congruente con aquellos reportados por Karani (*op. cit.*).

Respecto al incremento medio en altura, se observa un comportamiento con cierta variación entre las evaluaciones realizadas. El incremento periódico en altura registró valores con alto grado de variación por tratamiento en la segunda evaluación, presentando valores decrecientes en forma directamente proporcional a la intensidad de poda, estabilizándose en la evaluación final con incrementos sustantivamente superiores en comparación con el testigo. Estos resultados coinciden con aquellos reportados en la literatura consultada (Adlar, *op. cit.*; Luckhnoff, *op. cit.* y Karani, *op. cit.*).

## CONCLUSIONES

1. El tratamiento que presentó la mejor respuesta a la aplicación de la poda en la segunda evaluación (1989), fue el **A** (2.50 m) con la ventaja de proporcionar una troza libre de ramas en comparación con el testigo. Sin embargo, en la tercera evaluación, se encontró que las mejores intensidades de poda fueron los tratamientos **C** (4.00 m) y **B** (3.30 m), para obtener un producto final de mayor valor comercial que compense los costos de la poda.
2. Los tratamientos que alcanzaron la mayor altura de fuste limpio por efecto de la aplicación de la poda, fueron los tratamientos **A**, **B** y **C**, con alturas de fuste limpio

superiores a los 12 m, en comparación con el testigo que sólo alcanzó 73 cm de fuste limpio.

3. La aplicación de las podas influyen en la altura, ocasionando una disminución en el ritmo de crecimiento directamente proporcional a la intensidad de aplicación en el primer año; sin embargo, en el corto plazo (7 años), la altura del arbolado se ve incrementada sensiblemente por la aplicación de podas a 4.00 y 3.30 m de altura de poda.
4. Relativo al efecto en el diámetro, se concluye que las podas provocan una disminución en el incremento de esta variable por una posible influencia de la alta densidad de la plantación (2,500 árboles/ ha).
5. Anticipadamente a la aplicación de las podas, es recomendable realizar un aclareo selectivo con la finalidad de eliminar individuos dominados o suprimidos, que incrementarán los costos de poda y que finalmente serán eliminados por los dominantes.
6. Se deben aprovechar los productos obtenidos por la aplicación de las podas, con el fin de amortizar en parte, las erogaciones realizadas. También es posible comercializar los productos que se obtengan por los aclareos provocados por la competencia.
7. Para la región de Huayacocotla, Ver., cuyas plantaciones de *Pinus patula* tengan de siete a ocho años de edad, en altura y diámetro promedio de 8.5 m y de 12.0 cm respectivamente, se recomienda podar a una altura mínima de 2.5 m y máxima de 4 m, en combinación con un aclareo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adlard, P. G. 1964. Pruning trial Dedza Mountain Forest, Malawi. Comm. For. Rev. 43 (4) pp. 339-349.
- \_\_\_\_\_. 1969. Quantitative effects of pruning *Pinus patula* in Malawi.
- Fielding, J. M. 1964. The pruning of plantation pines. Comm. For. Rev. 43(4):303-314.
- Galloway, G. 1987. Crterios y estrategias para el manejo de plantaciones forestales en la Sierra Ecuatoriana. DINAFAID, Ecuador. 145 p.
- Karani, P. K. 1978. Pruning and thinning in a *Pinus patula* stand at Lendu Plantation, Uganda. Comm. For. Rev. 57 (4) 269-278.

- Luckhnoff, H. A. 1949. The effect of live pruning of the growth of *Pinus patula*, *Pinus caribaea* and *Pinus taeda*. J. S. Afr. For. Ass. 18, pp. 25-55.
- Romo, G. D. 1991. Diferentes intensidades de poda en una plantación de *Pinus patula* Schl. et Cham. en la región de Huayacocotla, Ver. Tesis profesional. Div. de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Méx. 78 p.
- Wormald, T. J. 1975. *Pinus patula*. Unit of Tropical Silviculture Dept. of Forestry. England. 217 p.

# PLANTACIÓN DE *Pinus pseudostrobus* Lindl. A RAÍZ DESNUDA Y EN ENVASE CON DOS SISTEMAS DE PREPARACIÓN DE TERRENO.

Muñoz Flores H. Jesús<sup>1</sup>

## RESUMEN

Una alternativa para apoyar los trabajos de repoblación forestal es el empleo de plántulas a raíz desnuda que abarata los costos de producción, transporte y establecimiento de la plantación; por otra parte, la preparación del terreno tradicionalmente no se realiza, por lo que es común que las plantaciones presenten baja sobrevivencia y desarrollo. Para obtener información al respecto, en julio de 1989 se estableció una plantación experimental en terrenos de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán; con el objetivo de evaluar el efecto de la preparación de terreno sobre el desarrollo de plántulas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. propagadas a raíz desnuda y en envase, se analizaron los costos de producción de planta, preparación de terreno y plantación, la sobrevivencia y el crecimiento en diámetro y altura. Se utilizó un diseño factorial con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. Los resultados obtenidos a cinco años de plantación, indican que la sobrevivencia, diámetro y altura por tratamiento respectivamente fue: en envase con chaponeo y cepa común 95%, 5.1 cm y 3.84 m; a raíz desnuda con chaponeo y a pico de pala, 85%, 4.9 cm y 3.85 m; en envase con barbecho y cepa común, 96%, 6.8 cm y 4.71 m y a raíz desnuda con barbecho y a pico de pala 83%, 6.9 cm y 4.78 m. El costo de plantación para el año de 1996 por hectárea barbechada con planta en envase fue de \$ 4,284.00 y el de raíz desnuda \$ 2,367.00; los costos en terreno con chaponeo y planta en envase fue de \$ 4,194.00 y el de raíz desnuda de \$ 2,277.00, lo que representa un ahorro del 45% en terreno barbechado y un 46% en terreno con chaponeo a favor de la planta a raíz desnuda en relación a la planta en envase. Se concluye que la preparación del terreno (barbecho) influyó en el crecimiento en diámetro en un 36% y en altura en un 23.5% de las plantas a raíz desnuda y en envase, respecto al terreno con chaponeo y no así en la sobrevivencia. Se obtuvo un abatimiento de costos de producción de hasta un 50% con el empleo de plántulas a raíz desnuda.

**Palabras clave:** *Pinus pseudostrobus*, preparación del terreno, raíz desnuda, plantaciones forestales, Michoacán, México.

---

<sup>1</sup> Ingeniero Agrónomo Forestal. Investigador del Campo Experimental Uruapan, CIPAC, INIFAP, SAGAR.

## ABSTRACT

One alternative to support forest repopulation projects is bare root seedlings utilization because nursery propagation, seedling transportation and establishment costs are less than container system. In Mexico, site preparation is not a common practice, this had lead to poor survival and slow early growth; to obtain information about this concern, a study was initiated in July 1989, the locality was San Juan Nuevo Parangaricutiro, Michoacan forest lands, the goal was to observe seedling (bare-root and container) response to field conditions as modified by two competition control treatments. *Pinus pseudostrobus* Lindl. experimental plantation establishment was an attempt to improve planting operation for both bare-root and container seedlings. Establishment details five years survival and seedlings diameter and height development are: chaponeo-container 95%, 5.1 cm and 3.84 m; chaponeo-bare-root 85%, 4.9 cm and 3.85 m; container-fallow: 96%, 6.8 cm and 4.71 m; bare-root-fallow 83%, 6.9 cm and 4.78 m. Establishment costs per hectare in 1996 were: land fallowed and container was \$4,284.00; land fallowed and bare-root seedlings was \$2,367.00; chaponeo and container \$ 4,194.00 and chaponeo-bare-root was \$2,277.00. Conclusions indicate that fallow influence diameter and heigh growth in 36% and 23.5% respectively *versus* chaponeo both container and bare-root seedlings, but there were not effects on survival indicator.

Key words: *Pinus pseudostrobus*, site preparation, bare-root, forest plantations, Michoacan, Mexico.

## INTRODUCCIÓN

En Michoacán, se han establecido plantaciones forestales desde 1917; pero solo es en forma consistente a partir de 1960, con la participación de diferentes dependencias oficiales y privadas empleando principalmente especies de los géneros *Pinus*, *Eucalyptus* y *Cupressus* y con los objetivos de recuperación y protección de áreas con suelos degradados, en terrenos donde se han abandonado los cultivos agrícolas, en zonas de bosques empobrecidos en lugares de esparcimiento cercanos a la poblaciones, así como en cuencas con fines de protección; sin embargo estas plantaciones se han establecido sin una preparación adecuada del terreno, que generalmente no se realiza y el sistema de plantación empleado es el de cepa común, que se ha usado indistintamente, sin tomar en cuenta los aspectos generales del terreno como topografía, pendiente, tipo de suelo, pedregosidad, entre otras; por esta causa el resultado ha sido baja sobrevivencia y mal desarrollo de las plantaciones. Debido a lo

anterior se planteó establecer una plantación con dos sistemas de preparación del terreno, que permita mejorar las condiciones para el establecimiento y desarrollo subsecuente de los arbolitos.

Por otra parte, la producción de planta en los viveros se realiza con el sistema tradicional en envase, cuyos costos de producción son altos en relación a otros tipos como a raíz desnuda, lo que encarece las actividades de plantación porque requiere mayor cantidad de insumos e implica labores como acarreo de gran cantidad de tierra para el llenado de bolsa, trasplante, deshierbes, además de que se transporta menor cantidad de arbolitos por viaje y es necesaria mayor cantidad de mano de obra especializada para realizar estas labores; por lo anterior, se plantea optimizar o prescindir de alguna de estas labores, utilizando el sistema de producción de planta a raíz desnuda como alternativa a la planta producida en envase, lo que implica una reducción en los costos totales por hectárea reforestada y en los tiempos netos de ejecución.

Por la importancia de lo señalado, para el presente trabajo se plantearon los siguientes objetivos:

- Evaluar el crecimiento de las plantas producidas a raíz desnuda y en envase plantadas con dos sistemas de preparación del terreno.
- Estimar los costos de producción, transporte y establecimiento de plántulas a raíz desnuda y en envase.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Trabajos en el extranjero

Edwards (1986)<sup>2</sup>, evaluó la sobrevivencia, altura y crecimiento en diámetro de *Pinus taeda* por 3 años después de la aplicación de seis tipos de preparación de sitio; los árboles del tratamiento más intensivo que incluyó chaponeo, quema, disco, fertilización y tratamiento con herbicidas, fueron alrededor de 45 cm más altos que el testigo y la sobrevivencia fue superior en 8%.

---

<sup>2</sup> Edwards, M. B. 1986. Three-year performance of planted loblolly pine seedlings on a lower Piedmont site after six site-preparation treatments.

Sloan *et al.* (1987)<sup>3</sup>, estudiaron el crecimiento de *Pinus ponderosa* a raíz desnuda y envase, la plantación se estableció en 5 localidades de sureste de Utah y las comparaciones de la sobrevivencia y altura se realizaron a los 5 años. Los resultados mostraron que la sobrevivencia de la planta envasada es de 78-98 % y de 64-91% a raíz desnuda; en sitios difíciles el crecimiento en altura es mayor cuando se emplean arbolitos provenientes de contenedores pero el valor permanece semejante en los mejores sitios.

Boyer (1988)<sup>4</sup>, en Georgia, E.U.A., evaluó los efectos de varios niveles de control de competencia sobre el desarrollo de *Pinus palustris* empleando plantas a raíz desnuda y envase. Los resultados obtenidos señalan que después de 5 años de plantación, la sobrevivencia de la planta envasada (76%) fue mayor que la obtenida con plantas a raíz desnuda (51%); la altura de igual forma fue mayor 1.80 m contra 1.42 m. Por otra parte, la eliminación de competencia mejoró el crecimiento promoviendo en planta envasada alturas de 2.15 m en lugares tratados, contra 1.37 m en lugares sin tratar y a raíz desnuda 1.62 m contra 1.25 m.

Oucalt (1988)<sup>5</sup>, estudió durante 10 años el efecto de la preparación de sitio en Georgia, E.U.A, encontrando que el desnudar de vegetación al suelo, éste muestra un efectivo valor al relacionar el costo-beneficio para el establecimiento de plantaciones de *Pinus clausa* var. *immuginata*, debido a que es posible reducir los costos sin detrimento de la sobrevivencia o producción de la masa.

Brissette y Barnett (1989)<sup>6</sup>, produjeron plántulas en envase y a raíz desnuda de seis familias de medios hermanos y los plantaron en dos localidades de Arkansas, al momento de la plantación los de raíz desnuda tenían mayor altura media y diámetro de collar que los envasados, sin embargo estas últimas tuvieron mayor volumen radicular promedio y un balance más favorable en la relación parte aérea-raíz; después de una estación de crecimiento en el campo, la sobrevivencia de ambos tipos excedió el 94%, en ambas áreas las plántulas de envase crecieron más en las dos localidades y la familia y tipo de producción en vivero interactuaron en sus efectos sobre la altura de los arbolitos.

Mc Kee (1989)<sup>7</sup> asevera que la preparación de terreno es esencial para el establecimiento de plantaciones de *Pinus taeda* en el sureste de E.U.A.; los propósitos

---

<sup>3</sup> Sloan, J. P.; Lewis H. J. and Russell A. Ryker. 1987. Container-grownponderosa pine seedlings outperform bareroot seedlings on harsh sites in Southern Utah

<sup>4</sup> Boyer, W. D. 1988. Response of planted longleaf pine bareroot and container stock to site preparation and release: five years results.

<sup>5</sup> Oucalt, K. W. 1988. Establishing Choctawhatchee sand pine using strip site preparation. pp. 178-181.

<sup>6</sup> Brissette, J. C. And J. P. Barnett. 1989. Comparing first year growth of bare-root and container plantings of Shortleaf pine half-sib families. pp. 354-361.

<sup>7</sup> McKee, W. H. 1989. Preparing Atlantic coastal plain sites for loblolly pine plantations.

de la preparación de terreno incluyen el control de la vegetación competitiva, mejoramiento del drenaje e incrementar la fertilidad del suelo, la selección del tratamiento adecuado depende fuertemente del tipo de suelo y la cantidad de otras especies principalmente hojosas que han sido aprovechadas en la rotación anterior.

Page-Dumroese *et al.* (1989)<sup>8</sup>, indican que la productividad de los suelos forestales puede deteriorarse después del aprovechamiento y preparación del sitio resultando cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y donde sobresale el agotamiento del Nitrógeno. Estos mismos autores condujeron un estudio de preparación de terreno para buscar mejorar la sobrevivencia y desarrollo; en dos localidades y con ayuda mecánica, la materia orgánica y el suelo mineral se elevaron en pequeños montículos a manera de camas de crecimiento y los resultados fueron comparados con suelos desnudos, los resultados señalan que el N y P totales y las concentraciones intercambiables de cationes son mejoradas con la formación de montículos, sin embargo la diferencia no fue significativa al nivel de 5 % de confiabilidad, en cuanto a la respuesta de las plántulas a los tratamientos fue mínima y en los dos sitios el N total fue mayor en los montículos y en suelo sin disturbio que en suelos escalpados.

Edwards (1990)<sup>9</sup> en Georgia, U.S.A. ensayó seis intensidades de preparación de sitio variando desde un testigo, subsoleo, quema, fertilización y aplicación de herbicida; la sobrevivencia, y crecimiento en altura y diámetro de *Pinus taeda* fue evaluada durante cinco años después de la plantación, todos los tratamientos mecánicos mostraron buena sobrevivencia, el crecimiento en volumen fue mayor 5 veces respecto al testigo y se obtuvieron beneficios adicionales sobre el control de malezas.

Ratliff y Denton (1991)<sup>10</sup>, indican que la preparación de áreas para la plantación de coníferas reduce la competencia pero crea condiciones de campo pobres; en Modoc National Forest, California, E.U.A., practicaron la preparación de sitio en 1988 y en 1989 establecieron plantaciones de *Pinus ponderosa*; de las observaciones realizadas en 5 plantaciones, los arbolitos sobrevivientes cubrían solamente el 2.5 % del suelo, los arbustos 1.4 % y los pastos perennes, anuales, hierbas anuales y perennes cubrieron solamente cerca de 0.5 % cada una; el área sin plantar mostró 53 % de suelo desnudo, 34 % de materia orgánica, las rocas y madera alrededor de 3.5 %. La capa de suelo de las áreas con plantación fueron: densidad 1.5 g/cm<sup>3</sup>, materia orgánica 11.7 %, agua en el suelo 8.1 % y absorción de agua 0.98 min/cm.

---

<sup>8</sup> Page-Dumroese, D. S.; M. F. Jurgensen; R. T. Graham and A. E. Harvy. 1989. Soil Chemical properties of raised planting beds in a Northern Idaho forest.

<sup>9</sup> Edwards, M. B. 1990. Five years response of Piedmont loblolly pine to six site preparation treatments. pp. 3-6.

<sup>10</sup> Ratliff, R. D. And R. G. Denton. 1991. Site preparation + 1 year: effect on plant cover and soil properties.

Scarfe *et al.* (1992)<sup>11</sup>, mencionan que en algunas localidades del sur de E.U.A., los costos de preparación de terreno son prohibitivos y ofrece la alternativa de muy bajo costo al emplear cabras para eliminar efectivamente la competencia a las plantaciones forestales que pueden alcanzar ramas de hasta 1.20 m sobre el nivel del suelo y controlar también la vegetación más alta al desnudar el tronco quitando la corteza de los mismos aunque sólo consumen vegetación verde; para mejores resultados, las cabras pueden emplearse dentro de los dos primeros años después de la corta de limpia, que es cuando el total de la vegetación está a su alcance; los beneficios adicionales es que no se afecta la superficie del suelo y el albedrío del agua.

Busby *et al.* (1993)<sup>12</sup>, reportan los resultados de la comparación de la preparación de terreno (que incluyó la preparación con herbicidas y quema) y la eliminación de malezas con herbicidas a los dos años de plantación; del estudio se concluye que ambas estrategias son favorables económicamente para las condiciones de Piedmont, Georgia y que sin embargo el retorno económico de la inversión parece ser mayor con la preparación de sitio además de que se ofrecen otras opciones como más rangos de eficacia, opciones de otras aplicaciones químicas y mayor control posible sobre las malezas, pero las ventajas que ofrece el tratamiento alternativo con la aplicación de herbicidas pueden ser el bajo costo de tratamiento, la inversión diferida o retrasada y la prescripción más precisa.

Barnett y McGilvray (1993)<sup>13</sup>, evaluaron el crecimiento de *Pinus taeda* provenientes de un mismo lote de semillas, las plantas fueron de dos tipos envasada y a raíz desnuda; al momento de la plantación, el tamaño y calidad de la planta en envase fue igual o mejor que el material a raíz desnuda; los dos primeros años las condiciones fueron ideales y el rendimiento fue igual en ambos tipos, pero cuando las condiciones fueron estresantes las plantas envasadas sobrevivieron y crecieron mejor que las de raíz desnuda.

## Trabajos en México

Por lo que respecta a trabajos realizados en Michoacán, no se reportan experiencias relacionadas con este tema y en México son pocos los trabajos publicados sobre el sistema de propagación y establecimiento de plantaciones a raíz desnuda.

---

<sup>11</sup> Scarfe, A. D.; P. R. Mount; R. L. Busby; S. G. Solaiman; R. O. Ankumah; R. M. Beaty; K. W. Johnson and G. Fagan. 1992. A low cost alternative for cutover forest site preparation: using goats. pp. 417-424.

<sup>12</sup> Busby, R. L.; J. H. Miller and M. B. Edwards. 1993. Release or site preparation, wich is the wiser investment. pp 178-182.

<sup>13</sup> Barnett, J. P. and J. M. McGilvray. 1993. Performance of container and bareroot Loblolly pine seedlings on bottomlands in South Carolina. pp 81.83.

Núñez de León (1971)<sup>14</sup>, llevó a cabo un trabajo de raíz desnuda en terrenos localizados dentro del área de influencia de la Unidad Industrial de Explotación Forestal Loreto y Peña pobre, S.A., habiendo utilizado 82 % de planta a raíz desnuda y 18 % de planta en envase de polietileno. La planta a raíz desnuda se transportó del vivero al sitio de plantación en paquetes de 100 cada uno, cuyas raíces fueron protegidas por una capa de lodo suave, envolviéndolas posteriormente en cartón asfaltado, almacenando luego los paquetes en cámaras frías a temperatura entre 0 y 3° C, durante 6 días, obteniéndose así sobrevivencia del orden de 60 a 70 %.

Hernández (1974)<sup>15</sup>, realizó un estudio con la finalidad de observar la supervivencia e incremento en altura de las especies *Pinus montezumae* y *P. pseudostrobus* en tres tipos de preparación del terreno: cepa común, subsoleo total y terrazas de absorción en San Marcos Huixtoco, Estado de México. Se concluye que existen diferencias significativas en la supervivencia de los tratamientos de preparación del terreno, siendo el de terrazas el que ofrece mejores resultados y que este tratamiento favorece al crecimiento en altura de las plantas de *P. pseudostrobus*, al igual que el subsoleo a *P. montezumae*. La elección de cualquiera de estos dos métodos deberá basarse en un estudio que involucre fundamentalmente los aspectos económicos y social.

Musálem *et al.* (1975)<sup>16</sup> realizaron un estudio sobre la influencia de la preparación del suelo en la supervivencia y crecimiento inicial de *Pinus radiata* a raíz desnuda, con cuatro métodos de preparación del suelo: subsolado, subsolado y un paso de rastra, cepa común 40x40x40 cm y palada. Se usó un tractor Caterpillar D4C de oruga con barra porta herramienta original, arrastrando un arado de subsuelo de 30 pulgadas; el espaciamiento entre plantas fue de 2 X 2 m. Los resultados indican que a dos años de establecida la plantación, los métodos de subsolado y rastra, y cepa común no presentaron diferencias significativas entre la supervivencia y la altura, sin definitivamente superiores al método de palada. El método más costoso fue el de cepa común, seguido por subsolado y rastra y subsolado, y el más barato el de palada.

Carrillo y Musálem (1986)<sup>17</sup>, realizaron en 1983 un trabajo en el Campo Experimental Forestal San Juan Tetla y consistió en probar tres tratamientos al suelo (quema, remoción y testigo) y cinco edades de planta ( 3, 6, 12, 24 y 36 meses ). La preparación del terreno en el caso de la quema se realizó con un lanzallamas, la remoción del suelo se realizó manualmente, con palas rectas, a una profundidad de aproximadamente 30 cm; no se reportó efecto significativo de los tratamientos al suelo de quema y remoción en la supervivencia de las plantas, sin embargo fue mayor en las de mayor edad donde el factor más determinante en la supervivencia fue la edad.

<sup>14</sup> Núñez de León, J. 1971. Evaluación de una plantación.

<sup>15</sup> Hernández, H. C. 1974. Comparación de tres métodos de preparación al terreno con fines forestales.

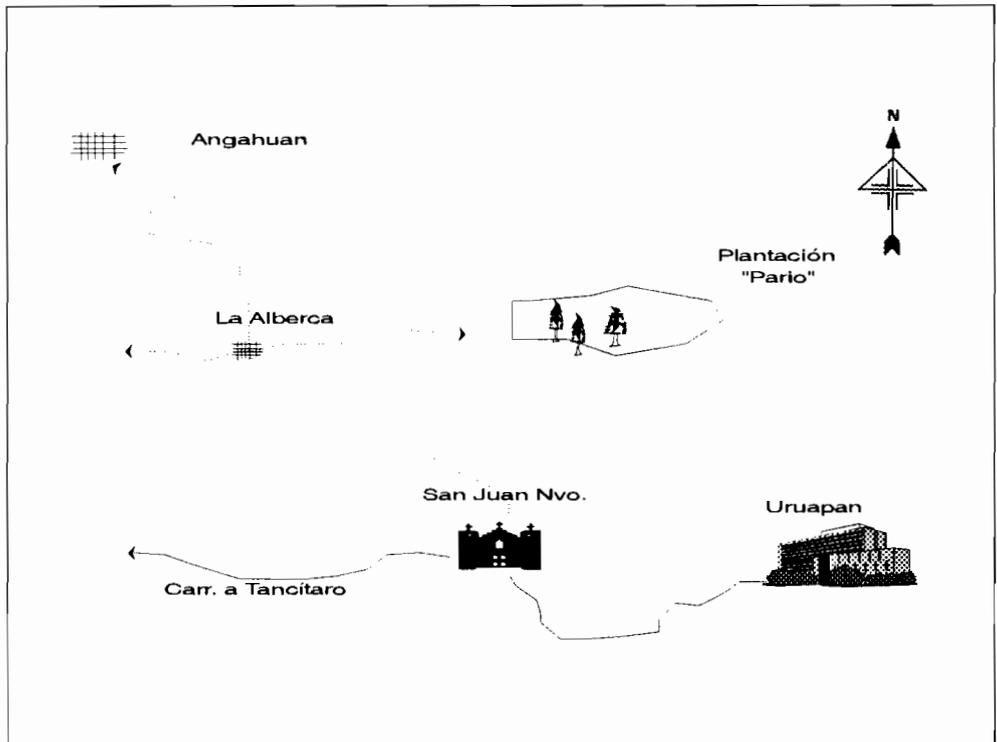
<sup>16</sup> Musálem, M. A.; J. M. Solís y H. Ramírez. 1975. Influencia de la preparación de suelo en la supervivencia y crecimiento inicial de *Pinus radiata* D. Don. A raíz desnuda. pp. 18-24.

<sup>17</sup> Carrillo, F. y M. A. Musálem. 1986. Influencia de tratamientos al suelo y edad de planta en la regeneración artificial de *Pinus montezumae* Lamb.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del área de estudio

**Localización.** La plantación experimental se encuentra en terrenos de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Mich. En el paraje conocido como "El Cerezo" del Cerro de Pario, las coordenadas  $19^{\circ} 28' 15''$  de latitud Norte y  $102^{\circ} 10' 30''$  de longitud Oeste; el terreno se encuentra a 2 530 msnm. (Figura N° 1).



**Figura N° 1.** Localización del área de estudio en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán.

**Suelo.** El terreno cuenta con 9,800 m<sup>2</sup> totales y con una superficie experimental de 6,400 m<sup>2</sup>, presenta una exposición este, con una pendiente promedio de 12%, la unidad de suelo corresponde al denominado Andosol húmico (regionalmente conocido como "Topuri") cuya textura es franco-arenoso, profundos con buen estado de conservación de color café y pH ácido característico de los suelos forestales.

**Clima.** Con base al sistema de clasificación climática de Köppen modificado por García (1963)<sup>18</sup>, y a las observaciones realizadas en la estación climatológica "Cupatitzio" durante el período 1978-1993, el clima corresponde al tipo C (m) (w) b i g que corresponde al templado con lluvias en verano; la precipitación media anual es de 1,600 mm, la evaporación es de 1,283 mm y la evapotranspiración potencial registra 1,026 mm, la temporada de lluvias abarca del 23 de mayo al 15 de noviembre aproximadamente; el régimen térmico anual tiene una temperatura máxima promedio de 23.8° C y una mínima de 9.2° C las unidades calor (umbrales entre 10 y 30° C), alcanzan las 210.8 UC en promedio observándose que de abril a octubre se presentan valores entre 217 y 273.4 UC y de noviembre a marzo el índice es menor a 200 UC con un mínimo de 144.7 en enero; la frecuencia de heladas es de 20 a 40 por año y granizadas de 2 a 4.

## **Producción de planta**

Los arbolitos empleados para el establecimiento de la plantación se propagaron en el vivero "El aserradero" de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan, habiéndose utilizado semilla recolectada de los rodales semilleros localizados en bosques aledaños propiedad la misma comunidad, los tipos de planta fueron a raíz desnuda y en envase.

**Planta a raíz desnuda.** Para la planta a raíz desnuda, se elaboraron camas de crecimiento de 1.20 m. de ancho x 8.0 m. de largo y 0.20 m. de alto. El sustrato empleado para su formación fue una mezcla de 60% de tierra de monte y 40% de arena. Durante los seis meses que duró la planta en el vivero se realizaron dos podas de raíz; para el transporte de la planta del vivero al terreno de plantación se utilizaron cubetas de plástico con capacidad aproximada de 150 plantas y se preparó una mezcla de lodo para cubrir las raíces con la finalidad de protegerlas del sol, viento o algún otro factor que pudiera provocar su desecación.

**Planta en envase.** La planta empleada en el estudio se produjo en bolsas de polietileno negro de 10 x 25 cm y el sustrato utilizado para el llenado fue idéntico al empleado para la formación de camas de crecimiento de raíz desnuda, la planta se transportó al

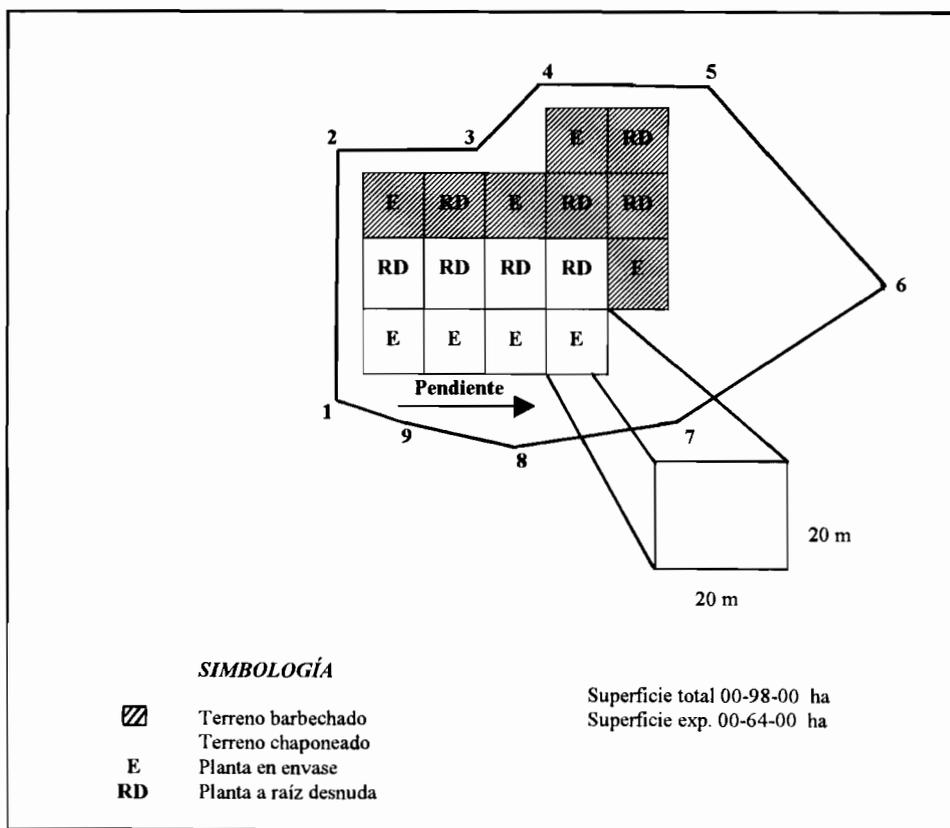
---

<sup>18</sup> García, E. 1973. Modificación al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (adaptado a las condiciones de la República Mexicana).

terreno de plantación en cajas de madera con capacidad de 48 plantas con la finalidad de darles un mejor manejo y evitar daños.

## Diseño experimental

Se utilizó un diseño factorial, con cuatro repeticiones, cada unidad experimental fue constituida por 100 plantas (Figura N° 2), donde la parcela grande está representada por el sistema de preparación del terreno (terreno con chaponeo o barbechado) y la parcela chica por los tipos de planta (en envase y a raíz desnuda).



**Figura N° 2.** Plano y diseño experimental de la plantación de *Pinus pseudostrobus* en la Comunidad de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán.

## Toma de datos de campo

## **Toma de datos de campo**

La primera toma de datos se realizó a los cuatro meses de establecida la plantación, posteriormente a los 12, 18, 24, 31, 48 y 60 meses se midieron las alturas de las plantas con estadal, y se determinó el número de plantas vivas (sobrevivencia). Al quinto año se midió el diámetro a 1.30 m sobre el nivel del suelo (DAP) con cinta diamétrica.

## **Variables evaluadas**

**Cuantitativas.** Se consideró la sobrevivencia y la altura total de la árboles para el periodo de cinco años; el último año, adicionalmente se evaluó el diámetro.

**Cualitativas.** Las características tomadas en cuenta son: el estado fitosanitario, el vigor de la plantación y la conformación del fuste; estas determinaciones se realizaron solamente en la evaluación final a 5 años de plantación.

## **Análisis estadístico de los datos**

Con los resultados de las mediciones obtenidas para las variables sobrevivencia, altura y diámetro, se procedió a realizar el análisis de varianza para un diseño factorial; al obtener diferencias significativas se procedió a realizar la prueba de comparación de medias de Tukey a una confiabilidad del 99%. Para la variable sobrevivencia los valores primeramente se transformaron a arco-seno para proceder a su análisis. Para las variables cualitativas se realizó una discusión de las mismas con base a porcentajes.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Variable sobrevivencia**

A cinco años de la plantación, la sobrevivencia fue del 90% lo que da consistencia a la información obtenida con todas las variables evaluadas; respecto a la planta en envase establecida en terreno con chaponeo, ésta logró una sobrevivencia del 95 %; mientras la planta a raíz desnuda en condiciones similares logró un 85 %; en terreno barbechado el índice fue de 96 % para la planta en envase y 83 % para la planta a raíz desnuda (Cuadro N° 1).

<b>SISTEMAS DE PREPARACIÓN DEL TERRENO</b>				
	<b>TERRENO CON CHAPONEO</b>		<b>TERRENO CON BARBECHO</b>	
<b>PARCELA</b>	<b>PLANTA EN ENVASE</b>	<b>PLANTA A RAÍZ DESNUDA</b>	<b>PLANTA EN ENVASE</b>	<b>PLANTA A RAÍZ DESNUDA</b>
1	100	83	96	91
2	90	89	96	88
3	96	85	98	65
4	94	83	93	87
<b>MEDIA</b>	95 %	85 %	96 %	83 %

**Cuadro N° 1.** Sobrevivencia a 5 años de plantación, en la Comunidad Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán.

Para el análisis estadístico, los valores porcentuales de esta variable se convirtieron a arcoseno, según sugerencia de Little y Hills (1983)<sup>19</sup>, porque los conteos expresados en porcentaje requieren transformación de angular a arcoseno ya que por regla general tales datos tienen una distribución binomial en lugar de una normal y una de sus características es que las varianzas se hallan relacionadas con las medias, tendiendo estas a ser más pequeñas en los extremos de los valores (cerca de cero y a 100 %) pero mayores en el medio (alrededor de 50%).

El análisis de varianza no reportó diferencias significativas relacionadas con la preparación del terreno (factor A); ni con respecto al factor B (sistemas de producción de planta); la interacción entre estos dos factores fue no significativa. El coeficiente de variación fue del 4.5851% lo que significa que es aceptable por la poca variabilidad de los datos obtenidos en campo (Cuadro N° 2).

FUENTES DE VARIACIÓN	G.L.	S.C.	C.M.	F	SIGN
Repeticiones	3	0.005647	0.001882	0.9213	
Factor A	1	0.001450	0.001450	0.7095	NS
Factor B	1	0.002686	0.002686	1.3145	NS
Interacción	1	0.001099	0.001099	0.5378	NS
Error	9	0.018387	0.002043		
Total	15	0.029267			

G.L. = grados de libertad    S.C. = suma de cuadrados    C.M. = cuadrado medio    F =  
SIGN = significancia    NS = No significativo.    C.V. = 4.5851%

**Cuadro N° 2.** Análisis de varianza para la sobrevivencia a 5 años de plantación. en la Comunidad Nuevo San Juan Parangaricutero, Michoacán.

Durante las primeras evaluaciones (a los 4 y 12 meses) se observó que la reducción de arbolitos en la plantación fueron causados en un 7 % por tuzas y un 3 % por otros factores no identificados, la mortandad promedio durante el primer año fue del 10 %.

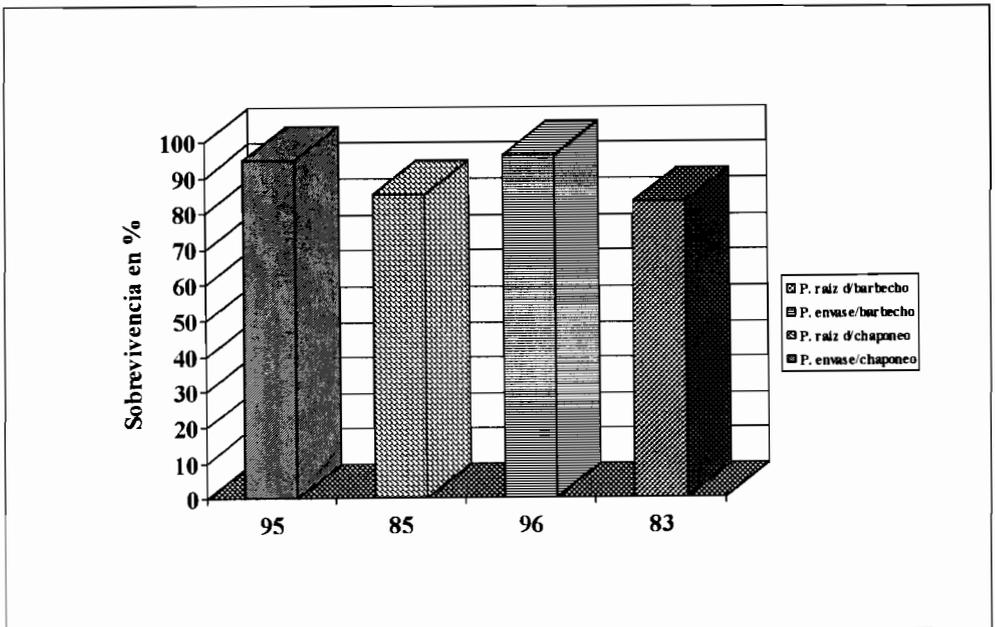
Los daños ocasionados por las tuzas fue mayor en las unidades experimentales con planta a raíz desnuda por lo que la diferencia entre los valores de la sobrevivencia en relación a la planta en envase debe atribuirse mayormente a esta causa y no por efecto de los tratamientos.

En la Figura N° 3 se muestra la sobrevivencia, estos resultados difieren con autores como Boyer (*op.cit.*) que en Georgia, E.U.A., realizó un trabajo con *Pinus palustris* donde la sobrevivencia a 5 años para la planta en envase fue del 76 % contra 51 % de raíz desnuda. Sin embargo, se concuerda con Lennartz y McMinn (1973)<sup>20</sup>, quienes en el sur de Florida probaron cinco tratamientos al suelo con *Pinus elliotti*, indicando que después de 10 años de establecido el estudio, en ninguna de las formas de preparación de terreno se tuvo efecto significativo en la sobrevivencia de la especie estudiada.

**Variable altura**

La planta a raíz desnuda en los dos sistemas de preparación del terreno contaba inicialmente con una altura menor (12 cm) respecto a la envasada (21 cm) pero se comportó de menos a más, igualando y superando a la planta en envase al quinto año de plantación, se considera que esto posiblemente obedeció a que la planta a raíz

<sup>20</sup> Lennartz, M. R. and J. W. McMinn. 1973. Growth of two varieties of slash pine on prepared sites in South Florida: 10 years results.



**Figura N° 3.** Sobrevivencia de la plantación de *Pinus pseudostrobus* a 5 años de edad, en la Comunidad Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán.

PARCELA	SISTEMAS DE PREPARACIÓN DEL TERRENO			
	TERRENO CON CHAPONEO		TERRENO CON BARBECHO	
	Planta en envase	Planta a raíz desnuda	Planta en envase	Planta a raíz desnuda
1	3.34	2.95	4.77	4.50
2	4.44	3.72	3.91	4.91
3	4.28	4.37	5.21	5.01
4	3.28	4.37	4.95	4.70
<b>MEDIA</b>	3.84 m	3.85 m	4.71 m	4.78 m

**Cuadro N° 3.** Datos promedio de las alturas a 5 años de plantación, en la Comunidad Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán.

## Variable altura

La planta a raíz desnuda en los dos sistemas de preparación del terreno contaba inicialmente con una altura menor (12 cm) respecto a la envasada (21 cm) pero se comportó de menos a más, igualando y superando a la planta en envase al quinto año de plantación, se considera que esto posiblemente obedeció a que la planta a raíz desnuda contaba con mayor volumen radicular por efecto de las dos podas efectuadas. En el Cuadro N° 3 se presenta los datos promedio para la variable altura por parcela, resultantes de la evaluación final.

Con la altura promedio del quinto año, se procedió a realizar el análisis de varianza, donde los resultados mostraron diferencias significativas para el factor A (Sistemas de preparación del terreno), no ocurriendo así para el factor B (Sistemas de producción de planta), ni en la interacción entre estos dos factores (Cuadro N° 4).

FUENTES DE VARIACIÓN	G.L.	S.C.	C.M.	F	SIGN
Repeticiones	3	1.383759	0.461253	1.8811	
Factor A	1	3.249084	3.249084	13.2506	**
Factor B	1	0.007721	0.007721	0.0315	NS
Interacción	1	0.002686	0.002686	0.0110	NS
Error	9	2.206818	0.245202		
Total	15	6.850067			

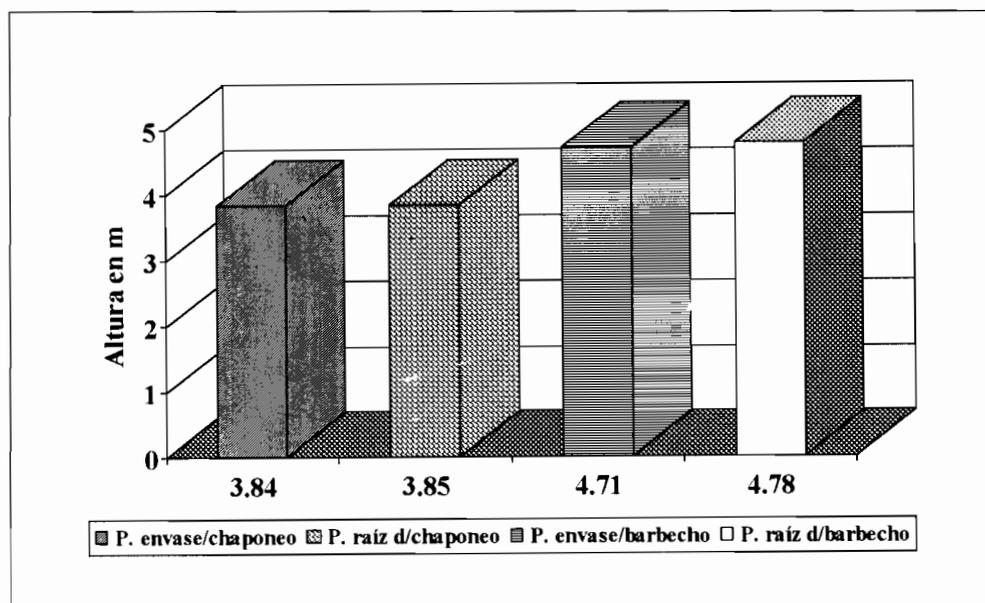
\*\*Significativo al nivel de 0.01 NS = No significativo C.V. = 4.5851%

**Cuadro N° 4.** Análisis de varianza para las alturas a 5 años de plantación, en la Comunidad Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán.

Para conocer el grado de diferenciación entre tratamientos, se empleó la prueba de comparación de medias honesta de Tukey (Cuadro N° 5) al 99 %. Para el factor A (Sistemas de preparación del terreno) se puede apreciar que la mayor altura se presentó en terreno con barbecho, los arbolitos alcanzaron una altura media de 4.74 m contra 3.84 m en promedio en el terreno con chaponeo, lo que corresponde a una diferencia en altura de 0.90 m a favor del terreno barbechado.

FACTOR A	MEDIA
1 (Barbecho)	4.74 a
2 (Chaponeo)	3.84 b

**Cuadro N° 5.** Tabla de medias del factor A (Sistemas de preparación del terreno)



**Figura N° 4.** Altura promedio de la plantación de *Pinus pseudostrabus* a la edad de 5 años, en la Comunidad Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán.

Como se puede apreciar en la Figura N° 4, la preparación del terreno con barbecho influyó en el desarrollo en altura de las plantas, tanto a raíz desnuda como en envase. Estos resultados coinciden con Boyer (*op. cit.*), donde se observó que la preparación del terreno tiene influencia en el desarrollo en altura para plantaciones de *Pinus palustris*.

Respecto al factor B (sistemas de producción de planta a raíz desnuda y en envase) como se mostró en el análisis de varianza no se encontraron diferencias significativas, debido a que la planta en envase alcanzó una altura media de 4.27 m contra 4.31 m de la planta a raíz desnuda (Cuadro N° 6).

Con relación a la interacción entre estos dos factores (sistemas de preparación del terreno x tipo de planta) la comparación de medias no mostró diferencias (Cuadro N°6). La interacción envase con barbecho y chaponeo presentó una media de 4.27 m contra la interacción raíz desnuda con chaponeo y barbecho la altura media fue de 4.31 m.

FACTOR A	FACTOR B		MEDIA
	1 (Envase)	2 (Raíz desnuda)	
1 (Chaponeo)	3.83	3.85	3.84
2 (Barbecho)	4.71	4.78	4.74
MEDIA	4.27	4.31	4.29

**Cuadro N° 6.** Tabla de medias de tratamiento AB.

### Variable diámetro

En los resultados de las mediciones en diámetro obtenidos a los cinco años de establecida la plantación, se observa que los arbolitos en envase y en terreno con chaponeo presentaron un diámetro normal (DAP) promedio de 5.1 cm, la planta a raíz desnuda logró 4.9 cm, mientras que en terreno barbechado la planta en envase alcanzó un diámetro de 6.8 cm y 6.9 cm para la de raíz desnuda (Cuadro N° 7).

<b>SISTEMAS DE PREPARACIÓN DEL TERRENO</b>				
<b>TERRENO CON CHAPONEO</b>			<b>TERRENO CON BARBECHO</b>	
<b>PARCELA</b>	<b>PLANTA EN ENVASE</b>	<b>PLANTA A RAÍZ DESNUDA</b>	<b>PLANTA EN ENVASE</b>	<b>PLANTA A RAÍZ DESNUDA</b>
1	4.3	3.1	6.7	6.7
2	6.2	4.8	6.3	7.4
3	5.8	5.7	7.4	7.2
4	4.2	6.0	6.7	6.1
<b>MEDIA</b>	5.1 cm	4.9 cm	6.8 cm	6.9 cm

**Cuadro N° 7.** Datos promedio en diámetro a 5 años de plantación en la Comunidad Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán.

Con respecto al análisis de varianza, los resultados indican diferencias significativas para el factor A (Sistemas de preparación del terreno), no así para el factor B (Sistemas de producción de planta), ni en la interacción entre estos dos factores (Cuadro N° 8). El coeficiente de variación se considera aceptable por su valor de 13.6559%, que demuestra la homogeneidad de la muestra.

<b>FUENTES DE VARIACIÓN</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.C.</b>	<b>C.M.</b>	<b>F</b>	<b>SIGN</b>
Repeticiones	3	3.87427	1.291809	1.9477	
Factor A	1	13.358948	13.358948	20.1415	**
Factor B	1	0.012024	0.012024	0.0181	NS
Interacción	1	0.052979	0.052979	0.0799	NS
Error	9	5.969299	0.663255		
Total	15	23.268677			

G.L. = grados de libertad    S.C. = suma de cuadrados    C.M. = cuadrado medio    F =  
SIGN = significancia    \*\* Significativo al nivel de 0.01    NS = No significativo    C.V. = 13.6559 %

**Cuadro N° 8.** Análisis de varianza para los diámetros a 5 años de plantación la Comunidad Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán.

Respecto a la prueba de comparación de medias de Tukey del factor A (Cuadro N° 9) los resultados muestran que los valores obtenidos en terreno con barbecho son significativamente superiores a los logrados en terreno con chaponeo.

<b>FACTOR A</b>	<b>MEDIA</b>
1 (Barbecho)	6.8 a
2 (Chaponeo)	5.0 b

**Cuadro 9.** Tabla de medias del factor a (sistemas de preparación del terreno).

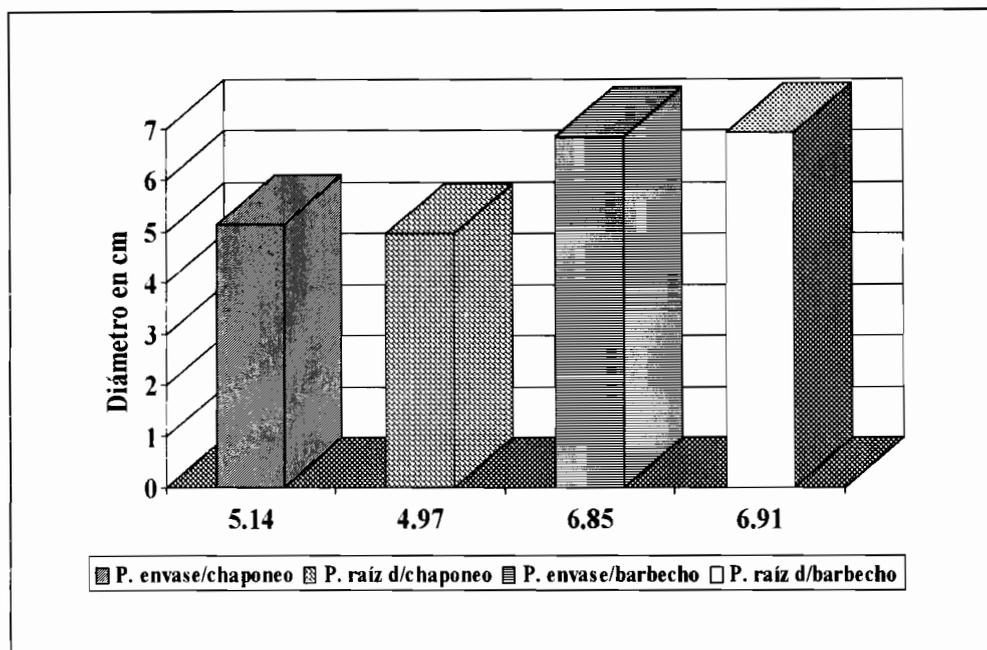
Como se muestra en el Cuadro N° 9, el mejor sistema de preparación es con terreno barbechado. Estos resultados muestran la bondad de este sistema de preparación del terreno porque al igual que en la variable altura los mejores resultados se obtienen cuando las plantas se establecen en estas condiciones.

En relación al factor B, el análisis de varianza no señaló diferencias significativas, la planta en envase presenta un diámetro medio de 5.9 cm valor igual al obtenido para la planta a raíz desnuda. La interacción no mostró diferencia entre estos dos factores para la variable diámetro como se muestra en la tabla de medias entre estos dos factores (Cuadro N° 10).

<b>FACTOR A</b>	<b>F A C T O R B</b>		<b>MEDIA</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	
1 (Chaponeo)	5.1	4.9	5.0
2 (Barbecho)	6.8	6.9	6.8
MEDIA	5.9	5.9	5.9

**Cuadro 10.** Tabla de medias de tratamientos AB.

En la Figura N° 5 se muestra la gráfica de los diámetros promedio obtenidos en los diversos tratamientos de que constó el estudio.



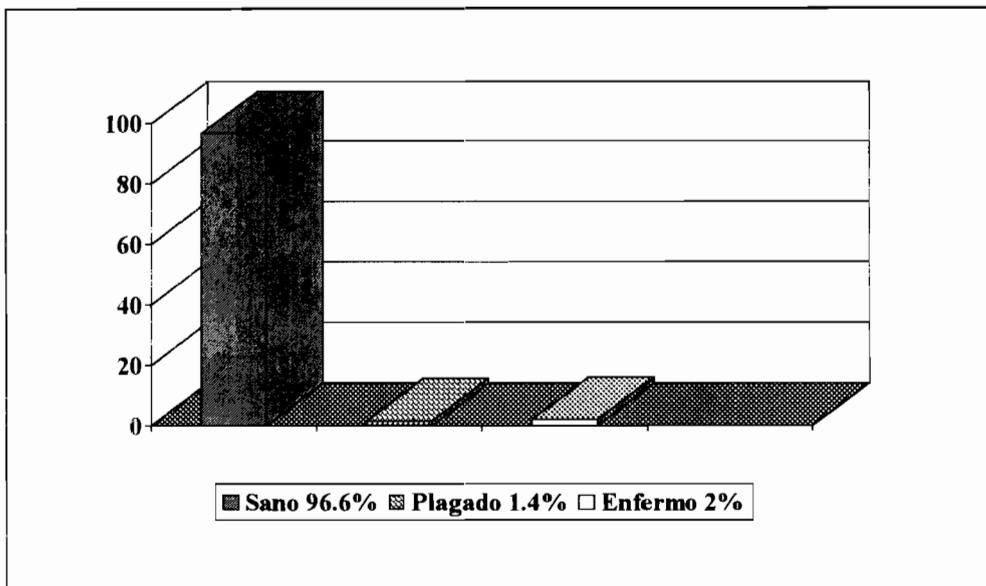
**Figura N° 5.** Diámetro promedio de la plantación de *Pinus pseudostrobus* a la edad de 5 años, en la Comunidad Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán.

### Estado fitosanitario

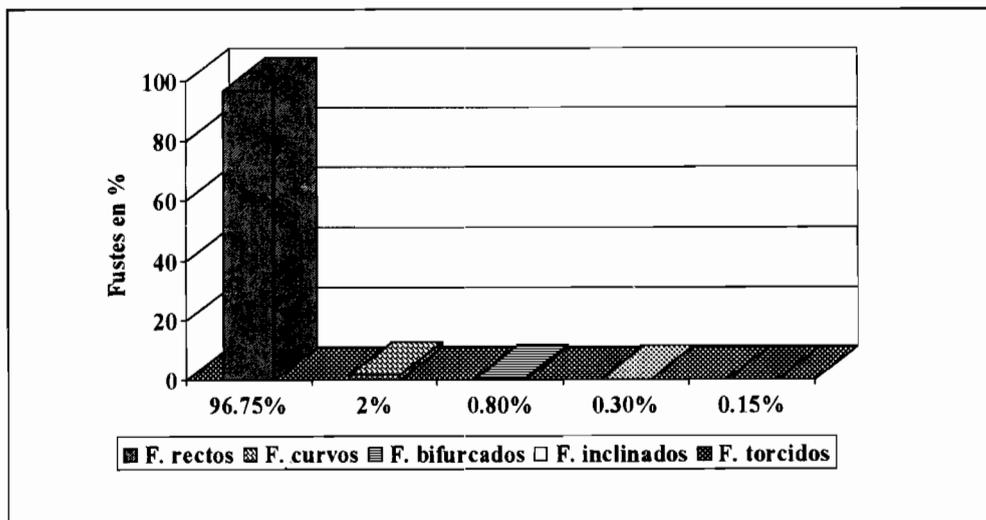
El estado general que presenta la plantación, es sano en un 96.6 %, un 2 % está afectado por escoba de bruja y un 1.4 % por roya (*Cronartium* sp.); ambos se detectaron desde los primeros meses de establecidos los arbolitos, y se supone que estas venían infestadas desde el vivero y muy probablemente lo portaba la semilla. (Figura N° 6).

### Conformación de fustes

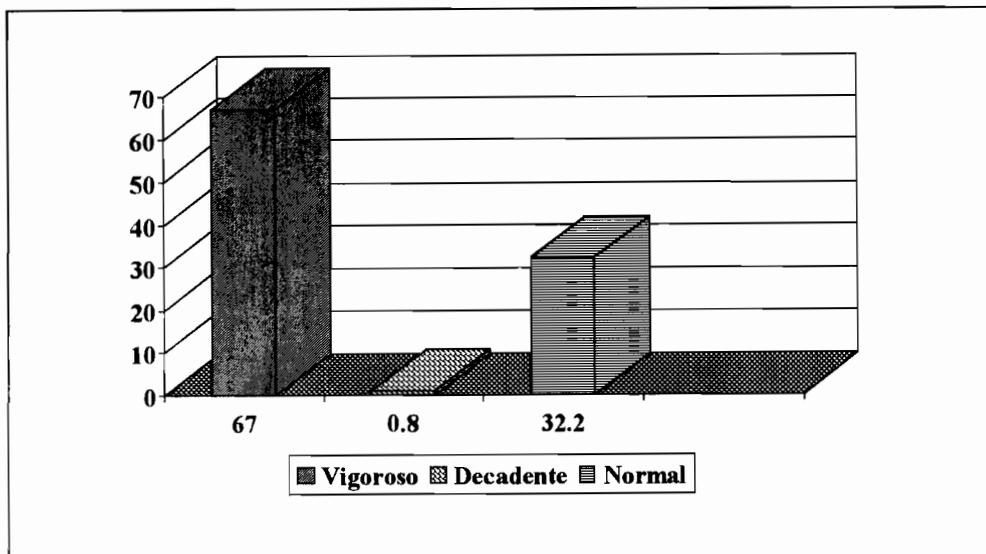
La plantación presentó un 96.75 % de fustes rectos, un 2.0 % curvos, 0.80 % bifurcados, 0.30 % inclinado y 0.15 % de fustes torcidos, en este caso probablemente aun no se manifiestan algunas de estas características por la corta edad de la plantación y aún no existe la máxima expresión de la competencia (Figura N° 7).



**Figura N° 6.** Estado fitosanitario de la plantación de *Pinus pseudostrobus* a la edad de 5 años, en la Comunidad Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán.



**Figura N° 7.** Conformación del fuste de la plantación de *Pinus pseudostrobus* a la edad de 5 años, en la Comunidad Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán.



**Figura N° 8.** Vigor de la plantación de *Pinus pseudostrobus* a la edad de 5 años, en la Comunidad Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán.

### Vigor de la plantación.

Para esta característica se consideró el vigor de la copa, presentándose un estado vigoroso en 67.0%, un 32.2% normal y un 0.8% decadente; el mayor porcentaje de copa vigorosa, se explica por la corta edad de la plantación y por lo tanto todavía no se manifiesta totalmente la competencia por el espacio entre las plantas (Figura N° 8).

### Análisis de Costos

Con respecto a los costos de producción de planta para el año 1996, se estimó que en lo referente a la planta en envase tuvo un costo de \$ 0.70 y la de raíz desnuda de \$ 0.35, lo que presenta una diferencia de \$ 0.35 a favor de la planta a raíz desnuda, por lo que existe un ahorro del 50% cuando se utiliza este sistema de producción de planta (Cuadro N° 11).

<b>TERRENO BARBECHADO</b>		
<b>CONCEPTO</b>	<b>ENVASE</b>	<b>RAÍZ DESNUDA</b>
PLANTA	1,754.00	887.00
TRANSPORTE DE PLANTA	292.00	134.00
TRANSPORTE DE PERSONAL	131.00	66.00
EJECUCION DE LA PLANTACION	1,089.00	262.00
ASISTENCIA TECNICA	73.00	73.00
CERCADO DEL TERRENO	785.00	785.00
BARBECHO	160.00	160.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 4,284.00</b>	<b>\$ 2,367.00</b>
<b>TERRENO CON CHAPONEO</b>		
<b>CONCEPTO</b>	<b>ENVASE</b>	<b>RAÍZ DESNUDA</b>
PLANTA	1,754.00	887.00
TRANSPORTE DE PLANTA	292.00	134.00
TRANSPORTE DE PERSONAL	131.00	66.00
EJECUCION DE LA PLANTACION	1,089.00	262.00
ASISTENCIA TECNICA	73.00	73.00
CERCADO DEL TERRENO	785.00	785.00
CHAPONEO	70.00	70.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 4,194.00</b>	<b>\$ 2 277.00</b>

**Cuadro N° 11.** Costos por hectárea reforestada con una densidad de plantación de 2,500 plantas/hectárea para 1996. CIPAC, INIFAP, Uruapan, Michoacán, 1989.

Estos resultados señalan que se reducen los costos de producción de planta con el sistema a raíz desnuda respecto del sistema en envase, esto es por el ahorro que se tiene al no ser necesaria la bolsa de polietileno, por reducir mano de obra en el proceso

de producción, al evitar el llenado de bolsa con sustrato y que no se realiza el acomodo de envase; además, este mismo sustrato se puede utilizar en ciclos de producción subsecuentes previo tratamiento al mismo.

Los costos en el transporte con planta a raíz desnuda se reducen, ya que el costo unitario por planta transportada es de \$ 0.0536 contra la de envase que es de \$ 0.1168 por planta, significando un ahorro del 54% en esta actividad.

En este tipo de suelos (Andosol), las actividades de plantación son más rápidas con arbolitos a raíz desnuda ya que en un jornal de 8 horas, una persona reforestó 280 plantas durante el establecimiento del estudio y se considera que este rendimiento puede ser 3-5 veces mayor en plantaciones masivas, mientras que en envase se tiene un rendimiento de únicamente 125 plantas por jornal, pero en casos sobresalientes hasta 200 para plantaciones realizadas anualmente en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Mich.

El costo de plantación por hectárea para 1996, utilizando planta a raíz desnuda, representa un ahorro del 45 % en terreno barbechado y un 46% en terreno con chaponeo, en relación a utilizar planta en envase.

## CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos a cinco años de establecida la plantación de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en suelos Andosoles de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Mich., se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. La sobrevivencia de 90% en la plantación experimental se considera buena, por tratarse de una especie nativa de la región, lo que da consistencia a los resultados obtenidos con las mediciones en altura y diámetro.
2. La sobrevivencia con la planta a raíz desnuda pudo ser mayor del 85% de no ser por la presencia de las tuzas y alcanzar un índice al menos similar al de la planta en envase.
3. El buen desarrollo en altura de las plántulas a raíz desnuda y en envase dependen en gran medida al sistema de preparación del terreno empleado.
4. La preparación del terreno (barbecho) influyó en el crecimiento en altura y diámetro, ya que se obtuvo una ganancia de 0.87 m y 1.7 cm con planta en envase y 0.93 m y 1.9 cm con raíz desnuda, respecto al terreno con chaponeo.
5. El mayor crecimiento en altura y diámetro se presentó con planta a raíz desnuda en terreno barbechado, ya que las plantas alcanzaron una altura promedio de 4.78 m y 6.9 cm, con respecto a la planta en envase en terreno barbechado que presentó una altura y diámetro promedio de 4.71 m y 6.8 cm respectivamente.

6. Para plantaciones exitosas con planta a raíz desnuda, es decisivo el manejo que incluye desde las podas de raíz, extracción, forma de transporte para evitar desecación radicular y la plantación misma.
7. Se reducen los costos de producción de planta en un 50 % cuando se producen plantas a raíz desnuda.
8. Se obtiene reducción de costos hasta un 46 % con el empleo de plántulas a raíz desnuda en trabajos de reforestación.
9. El estado fitosanitario de todos los tratamientos de la plantación es bueno; así como la conformación del fuste es recto, presentando las plantas un estado vigoroso de la copa.

## BIBLIOGRAFÍA

- Barnett, J. P. and J. M. McGilvray. 1993. Performance of container and bareroot loblolly pine seedlings on bottomlands in South Carolina. *Southern Journal of Applied Forestry*. 17 (2): 81-83.
- Boyer, W. D. 1988. Response of planted longleaf pine bareroot and container stock to site preparation and release: five years results. *Proceedings on the 5Th Biennial Southern Silvicultural Research Conference*. Gen Tech. Rep. SO-74. New Orleans, LA. pp. 165-168.
- Busby, R. L.; J. H. Miller and M. B. Edwards. 1993. Release or site preparation, which is the wiser investment. *In: Weed science in harmony with the environment: 46th annual meeting of the Southern Weed Science Society*. Forest Service, USDA. pp. 178-182.
- Brissette, J. C. and J. P. Barnett. 1989. Comparing first year growth of bare-root and container plantings of shortleaf pine half-sib families. *In: Proceedings of the Twentieth Southern Forest Improvement Conference*. Forest Service, USDA. pp. 354-361.
- Carrillo, F. y M. A. Musálem. 1986. Influencia de tratamientos al suelo y edad de planta en la regeneración artificial de *Pinus montezumae* Lamb. *Dasonomía Mexicana*, México, Vol. 4, N°7. 30 p.
- Edwards, M. B. 1986. Three-year performance of planted loblolly pine seedlings on a lower Piedmont site after six site preparation treatments. Research note SE-337. Forest Service, USDA. 4 p.
- Edwards, M. B. 1990. Five years response of Piedmont loblolly pine to six site preparation treatments. *Southern Journal of Applied Forestry*, 14 (1): 3-6.

- García, E. 1973. Modificación al Sistema de Clasificación climática de Köppen (adaptado a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía, UNAM. México. 36 p.
- Hernández, H. C. 1974. Comparación de tres métodos de preparación al terreno con fines forestales. Tesis Licenciatura. Escuela Nacional de Agricultura. Departamento de Bosques. Chapingo, México. 49 p.
- INEGI. 1985. Síntesis Geográfica del Estado de Michoacán. Secretaría de Programación y Presupuesto. México.
- Ladrach, W. E. 1993. Plantation establishment techniques in tropical America. Tree planters notes. North Carolina State University. Raleigh, NC. pp. 125-131.
- Lennartz, M. R. and J. W. McMinn. 1973. Growth of two varieties of slash pine on prepared sites in South Florida: 10 year results. Res. paper SE-103, Southeastern Forest Exp. Stn. Forest Service, USDA. Asheville, NC. 10 p.
- McKee, W.H. 1989. Preparing Atlantic coastal plain sites for loblolly pine plantations. GTR-SE-57, Forest Service, USDA. Asheville, NC. 19 p.
- Musálem, M.A., Solís, J.M. y Ramírez, H. 1975. Influencia de la preparación de suelo en la supervivencia y crecimiento inicial de *Pinus radiata* D. Don a raíz desnuda. México y sus Bosques 14(6):18-24.
- Núñez de León, J. 1971. Evaluación de una plantación. Rev. Bosques y Fauna. Vol. X N° 2. México, D.F.
- Oucalt, K. W. 1988. Establishing Choctawhatchee sand pine using strip site preparation. Southern Journal of Applied Forestry. 12 (3): 178-181.
- Page-Dumroese, D. S., M. F. Jurgensen, R. T. Graham and A. E. Harvey. 1989. Soil Chemical properties of raised planting beds in a Northern Idaho forest. Res. paper INT-419. Forest Service, USDA. 7 p.
- Ratliff, R. D. and R. G. Denton. 1991. Site preparation + 1 year: effect on plant cover and soil properties. Research Note PSW-RN-412. Forest Service, USDA. 5 p.
- Scarfe, A. D.; P. R. Mount; R. L. Busby; S. G. Solaiman; R. O. Ankumah; R. M. Beaty; K. W. Johnson and G. Fagan. 1992. A low cost alternative for cutover forest site preparation: using goats. In: Proceedings of the 7th Biennial Southern Silvicultural Research Conference, New Orleans, LA. GTR-SO-93, Forest Service, USDA. pp. 417-424.
- Sloan, J. P., Lewis H. J. and Russell A. Ryker. 1987. Container-grown ponderosa pine seedlings outperform bareroot seedlings on harsh sites in Southern Utah. Res. paper INT-384. Forest Service, USDA. 14 p.

# ESTUDIO ECONOMETRICO DEL MERCADO DE LA MADERA ASERRADA EN MÉXICO.

Pedraza Cerón Eusebio<sup>1</sup>  
García Delgado Gustavo<sup>2</sup>  
Velázquez Martínez Alejandro<sup>3</sup>  
Serrano Gálvez Enrique<sup>4</sup>

## RESUMEN

En este trabajo se estudia el comportamiento del mercado de la madera aserrada de coníferas (serie 1970-1994), para la industria de la construcción, a través de la formulación y estimación de un modelo econométrico de ecuaciones simultáneas, integrado por tres relaciones funcionales (oferta, demanda y precio) y una identidad o condición de cierre (saldo de comercio exterior) que recoge los efectos de ciertas variables predeterminadas, entre otras: el precio en producción de la madera aserrada, remuneración anual promedio a los trabajadores del sector silvícola, el ingreso per cápita, el índice de precios de la construcción y el valor promedio de las importaciones de madera. Se calcularon las elasticidades precio, cruzada e ingreso respectivas, de corto plazo.

Palabras clave: Madera aserrada, mercado, modelo econométrico, elasticidades.

## ABSTRACT

This is a study on the market behavior of coniferous saw wood (series 1970-1994) for the construction industry in Mexico. An econometric model of simultaneous equations was formulated which integrated three functional relationships: supply, demand and price, and an identity condition: import-export balance; structural and reduced forms were estimated in

---

1 Profesor de Tiempo Completo, División de Ciencias Forestales, DiCiFo, Universidad Autónoma Chapingo, 56230, Chapingo, Méx.

2 Investigador Docente, Programa de Economía, ISEI, Colegio de Postgraduados, 56230, Montecillo, Méx.

3 Profesor Colaborador, Programa Forestal, IRENAT, Colegio de Postgraduados, 56230, Montecillo, Edo. de Méx.

4 Profesor Liberado, Programa Forestal, IRENAT, Colegio de Postgraduados, 56230, Montecillo, Edo. de Méx.

order to retrieve the effects of several predetermined variables, such as sawn wood production price, annual average salary of silviculture sector workers, per capita income, and average price of imported lumber, among others. Price, cross, and income short term elasticities were calculated.

Key words: Saw wood, market, econometric model, elasticities.

## INTRODUCCIÓN

La madera aserrada ha sido el destino principal de la producción forestal maderable en México. Este concepto ha significado más del 50 % de la producción maderable durante los últimos 25 años. El comportamiento de esta categoría mostró una tendencia creciente desde 1970 hasta 1985, con 3931 Mm<sup>3</sup>r(miles de metros cúbicos rollo) de madera aserrada para el primer año, y 8042 Mm<sup>3</sup>(equivalentes en rollo; que es la manera usual en que se reportan las estadísticas oficiales), para el segundo, cuando alcanzó su máximo nivel; después de este último año decreció hasta llegar a 5603 Mm<sup>3</sup>r de madera aserrada en 1994.

Este descenso de los últimos años se considera que ha sido una consecuencia de la tendencia en la industria de la construcción, ya que este ramo ha constituido el principal consumidor de este tipo de madera de coníferas en el país.

Por su parte, la industria del aserrío generalmente ha producido madera aserrada de coníferas, y ésta tiene una gran importancia económica, ya que se registran alrededor de 1,375 plantas de aserrío con una capacidad instalada de 12.3 millones de metros cúbicos rollo, y 18,516 empleados (Cámara Nacional de la Industria Forestal, 1993)<sup>5</sup>.

No obstante la riqueza forestal del país, existen problemas complejos que caracterizan al sector forestal nacional, mismos que se han acentuado por la severa crisis económica que recientemente ha experimentado la nación. De esta manera, las actividades productivas que se han desarrollado en este sector distan mucho de haber cumplido con la función que se esperaba en el conjunto de la economía nacional; su participación en el Producto Interno Bruto (PIB) ha permanecido estancada durante años, en cifras por debajo del 1.5%; su papel como proveedor de insumos en la industria ha sido notablemente insuficiente, lo cual se ha traducido en saldos negativos de la balanza comercial durante varios periodos.

En las importaciones de madera que México realiza, generalmente están consideradas todo tipo de maderas en rollo, principalmente de Centro América, de América del Sur, de África, así como la de madera transformada vía Estados Unidos de América. México tiene el mayor

---

5 Cámara Nacional de la Industria Forestal. 1984. Memoria Estadística (1988-1993). México, D.F.

de sus mercados externos de la madera aserrada en los Estados Unidos de América, país que tradicionalmente ha sido el principal comprador foráneo.

Las exportaciones de madera aserrada han sido, generalmente, de la más alta calidad para molduras y de maderas finas en rollo y de madera aserrada; casi siempre sin arancel.

En materia de comercio internacional, fue un importante giro el que México se adhiriera al Acuerdo General sobre Aranceles y Comercio (GATT) en 1986.

Más recientemente, con el ingreso de México al Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) en 1994, se entró de lleno a una etapa de competencia abierta, ocasionando en la industria forestal un desplome al no contar con el equipo y la maquinaria que permitiesen ser competitivos, por no tener el personal capacitado, por el alza registrada en el costo del capital y por la caída de los precios internos reales de la madera aserrada, entre otros factores. A lo largo del periodo de referencia, la economía nacional ha sufrido devaluaciones, periodos de inflación y recesión, y una política de estabilización en el tipo de cambio del peso respecto al dólar. Durante este lapso también se han observado una serie de variaciones de los macroprecios (salarios, inflación, tasa de interés, tipo de cambio), mismos que de alguna manera han influido en el comportamiento de la economía nacional, del mercado de los productos forestales en general, y de la madera aserrada en particular.

En México, las existencias volumétricas de madera en rollo total árbol, por tipo de bosque, son de 568'614,468 m<sup>3</sup>r para bosque de coníferas, de 776'889,517 m<sup>3</sup>r para bosque de coníferas y latifoliadas, de 399'638,898 m<sup>3</sup>r para bosques de latifoliadas y de 85'861,068 m<sup>3</sup>r para bosque fragmentado y con unas existencias maderables totales de 1'831'003,951 m<sup>3</sup>r, siendo este el panorama de mayor interés, para el estudio en cuestión (Memoria Nacional Inventario Forestal Periódico, 1992-1994).

La problemática que se presenta en el aprovechamiento de los recursos forestales está dado por la característica de la estacionalidad, la que se manifiesta por la distribución de la época de lluvias que es de seis a siete meses, lo que dificulta la extracción de los productos forestales maderables; por otro lado, la propia ubicación de la industria de transformación; aunado a lo anterior, una pésima y deficiente red de caminos forestales, lo que tiene una repercusión en los costos de los productos forestales mexicanos en comparación con los de otros países.

En cuanto a la política forestal, en México es claro observar los distintos periodos sexenales en las estadísticas de la producción, pues esto, más que un problema técnico, ha sido de política, ya que no ha habido continuidad en los planes de manejo del recurso forestal: los estudios dasonómicos siempre han tenido el propósito de mantener la sustentabilidad del recurso forestal.

De los diferentes productos maderables que se obtienen de la madera en rollo de coníferas, sólo se estudiarán los aspectos económicos de la madera aserrada de coníferas; asimismo, se toma en cuenta la complementariedad en la producción y las interrelaciones que se dan en los

determinantes del comportamiento del empresario, que afectan el ritmo y la estructura de la producción para el mercado.

El subsector forestal produce bienes que generalmente no pueden ser utilizados por los consumidores tal como se obtienen del bosque; uno de los procesos de transformación de la madera en rollo es la industria de aserrío, la que transforma madera en rollo en madera aserrada para elaborar distintos bienes para los demandantes, dentro de los que destacan: la industria de la construcción, la industria de los muebles, etc.

Los precios reales, tanto en la producción como en el consumo, muestran tendencias que reflejan períodos tanto de altas inflaciones como los de control de ésta; también se observa que los productores tardan al menos un período en reaccionar a los cambios en el mercado.

## **OBJETIVO**

La presente investigación se propuso el análisis del comportamiento del mercado de la madera aserrada de coníferas a nivel nacional, con el propósito de identificar y cuantificar los efectos de las principales variables que determinan el comportamiento de dicho mercado. Es decir, se aborda la problemática económica que determina los niveles de la oferta, de la demanda y de los precios de este producto a nivel nacional, a través de un modelo econométrico de ecuaciones simultáneas.

## **HIPÓTESIS GENERAL**

El trabajo sostiene que el comportamiento del mercado de la madera aserrada, durante el período de estudio, se ha visto determinado tanto por los efectos de algunas variables macroeconómicas (salarios y tipo de cambio) como por los de ciertas variables sectoriales, i.e., precios del producto.

Las hipótesis particulares son:

- a) Los productores de madera aserrada se comportan racionalmente, según las señales del mercado (precios) y los principales factores determinantes (como: precio de los insumos y la tecnología entre otros), de la actividad forestal.
- b) Los demandantes de madera aserrada se comportan racionalmente, conforme lo establece

- b) Los demandantes de madera aserrada se comportan racionalmente, conforme lo establece la teoría económica, acordes a los efectos de los principales factores determinantes (precio de la productos sustitutos, precio de los productos complementarios e ingreso, gustos y preferencias).

## METODOLOGÍA

Como en todos los análisis econométricos del mercado de la madera aserrada, aquí también el supuesto básico en la construcción del modelo es que su comportamiento puede ser bien expresado mediante un sistema de ecuaciones lineales simultáneas (Singh y Nautiyal, 1985). El proceso de la construcción e identificación del modelo econométrico consiste en especificar y probar un conjunto de variables predeterminadas que podrían explicar, en parte, los comportamientos de las variables endógenas que aparecen en el sistema.

Para elegir entre las especificaciones alternativas, se empleó un procedimiento de dos pasos. Primero se asignó un conjunto de variables razonables para cada relación en la estructura básica de acuerdo con la teoría económica. En el siguiente paso, cuando el modelo fue especificado con pocas variables en el lado derecho de cada relación, se usaron dos criterios para finalizar. El primer criterio fue ver que el signo del coeficiente de cada variable fuera consistente con la teoría económica. El segundo criterio fue revisar la significancia estadística de los coeficientes exhibidos por el estadístico  $t$  (Nautiyal y Singh, 1985)<sup>6</sup>, por la  $F$  y la  $R^2$

## REVISION DE LITERATURA

En 1989, Tafur realizó un estudio econométrico del mercado de la madera aserrada de Perú, obteniendo elasticidades de la forma reducida restringida y realizando pronósticos de las variables endógenas.

A su vez, Luppold (1985)<sup>7</sup> señala que el análisis econométrico implica el desarrollo y la estimación de una ecuación o de un sistema de ecuaciones, las cuales representan hipotéticamente algún fenómeno económico. Si el fenómeno existe en un mercado perfectamente competitivo donde hay una reacción inmediata y completa a cualquier estímulo,

---

6 Nautiyal, J. C. and B. K. Sing. 1985. Production structure and derived demand for factor inputs in the canadian lumber industry. For Sci. 31(4):871-881.

7 Luppold, G.S. 1985. Demand, Supply and price of hardwood Lumber: An Econometric Study, Tesis Doctor of Philosophy in Agricultural Economics, Faculty of Virginia Polytechnic Institute. Blacksberg, Virginia.

entonces las elasticidades estimadas de esos modelos pueden ser consideradas como de corto plazo y de largo plazo. Sin embargo, cuando hay un ajuste incompleto a un estímulo económico en el período de tiempo actual, los conceptos de estructuras de retraso, distribución de retraso y ajuste dinámico tienen que ser considerados en el modelo.

Nautiyal y Singh (*op. cit.*) especificaron un modelo de relaciones independientes, uno por cada variable endógena, describiendo la estructura de los mercados de la madera canadiense. Los autores consideraron que podría haber algunas relaciones de causa y efecto, pero no hicieron el intento de identificarlas y permanecieron confinados al examen de la asociación entre las variables dependientes e independientes.

Para el caso de México no se encontró referencia bibliográfica alguna, por lo que el presente trabajo pionero pretende llenar tal vacío e iniciar los estudios sobre el tema, dada su complejidad y dificultad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se eligió un período de 25 años (1970-1994), dadas las restricciones que se tuvieron con la información disponible. Se procedió a especificar un modelo econométrico, con el fin de identificar y cuantificar los efectos de las principales variables que determinaron el comportamiento del mercado de la madera aserrada de coníferas para construcción en México durante ese tiempo. El propósito del modelo econométrico es fundamentalmente explicativo y predictivo, dada su naturaleza de simplificador de la realidad.

La información estadística utilizada se recopiló de diferentes fuentes oficiales las que, bajo distintos criterios emitidos por la Ley Forestal y su Reglamento, así como la interpretación de las autoridades forestales responsables de su cumplimiento, se ven reflejados en las tendencias que presentan las cifras estadísticas de las variables predeterminadas que integran las series de tiempo que explican a la oferta, a la demanda y al precio de la madera de aserrada, que es el objeto de este trabajo.

Para la oferta se utilizó el volumen producido de madera en millones de metros cúbicos rollo ( $Mm^3r$ ), destinado a la producción de madera aserrada, el precio de la madera aserrada en pesos/ $m^3r$  a precios de 1980 = 100, el precio de la madera aserrada retrasado a precios de 1980 = 100, el volumen de la producción retrasado de los estados de mayor producción en las siete regiones que la Cámara Nacional de las Industrias Derivadas de la Silvicultura estableció y que continuó, con la misma regionalización, la Cámara Nacional de la Industria Forestal, respectivamente (CNIDS, 1970-1988; CNIF, 1988-1993).

Del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, del Banco Nacional de México, del Banco de México y de su Sistema de Cuentas Nacionales de México, se obtuvo el Producto

Interno Bruto Nacional (PIB), por actividad económica, por sector de origen: Total, Agropecuario, Silvicultura, Caza y Pesca, para obtener el valor real de la producción de madera aserrada durante el período 1970-1994 (INEGI, 1990)8.

Por otro lado, se obtuvo del Fondo Monetario Internacional (International Monetary Fund) el Índice de Precios al Mayoreo de los Estados Unidos de América (Wholesale Prices Index), y la tasa de cambio del peso mexicano con respecto al dólar de los Estados Unidos de América, durante el período 1970-1994; tanto el Índice de Precios al Mayoreo, como las tasas de cambio del dólar se usaron para deflactar el valor promedio real de las importaciones, así como de las exportaciones de madera durante el período 1970-1994.

Para la estimación del modelo econométrico se utilizó el método de mínimos cuadrados en dos etapas con el PROC SYSLIM 2SLS de SAS/ETS, del paquete SAS (Statistical Analysis System).

Además se utilizó información que complementa a las series ya conformadas, como fueron los indicadores económicos editados por diversas instituciones tanto nacionales como internacionales, para homologar la información utilizada en el modelo econométrico.

La teoría económica especifica que la oferta, representada por la cantidad producida de un bien, está en función de su precio, del precio de los productos relacionados competitivos o asociados, y del precio de los insumos necesarios para su producción y de las expectativas del productor, entre otros aspectos.

Considerando las anteriores especificaciones, el estudio empírico de la cantidad producida de madera aserrada está determinada por el precio real de la madera aserrada que el industrial espera obtener, el precio y la cantidad de madera aserrada producida en el año anterior, así como el costo real de la mano de obra; esta relación funcional de la oferta puede expresarse de la siguiente manera:

$$VPRMA_t = \delta_1 (PMAR4_t, PMAR4_{t-1}, RAPS3_t, VPRMA_{t-1}, DRS3_t) \quad (1)$$

Donde:

$VPRMA_t$  = Volumen producido de madera aserrada en el tiempo t,  $Mm^3r$

$PMAR4_{t-1}$  = Precio real de la madera aserrada en el tiempo t-1,  $\$/m^3r$

$PMAR4_t$  = Precio real de la madera aserrada en el tiempo t,  $\$/m^3r$

$RAPS3_t$  = Remuneración anual promedio real del sector silvícola en el tiempo t,  $\$/año$

$VPRMA_{t-1}$  = Volumen producido de madera aserrada en el tiempo t-1,  $Mm^3r$

---

8 Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 1990. Estados Unidos Mexicanos, resultados definitivos, síntesis de resultados, XI censo general de población y vivienda, 1990. Aguascalientes, Ags. 99 p.

$DRS3_t$  = Variable dummy (de engaño o falsa), en el tiempo  $t$ , representa a los valores fuera de tendencia de la variable  $RAPS3_t$ , esto es, el efecto de los ajustes sexenales al macroprecio salario, con valores 0 y 1.

Aquí la variable  $DRS3_t$  capta los cambios debidos a políticas salariales, por lo que en la especificación del modelo econométrico se decidió introducir esta variable de clasificación o variable dummy (de engaño o falsa).

Cabe mencionar que la variable  $VPRMA_t$  representa las producciones de coníferas de las principales regiones, no la totalidad del volumen nacional; esto es, no se incluyeron a los estados del sureste (maderas tropicales) ni a Chiapas (inestabilidad política que altera el desempeño económico).

Las relaciones esperadas entre la variable  $VPRMA_t$  y las predeterminadas son las siguientes: directa (o positiva) entre  $VPRMA_t$  y  $PRMA_t$ , con  $PRMA_{t-1}$ , y con  $VPRMA_{t-1}$ ; inversa (o negativa) entre  $VPRMA_t$  y la  $RAPS_t$  (el costo de la mano de obra; la relación entre  $VPRMA_t$  y  $DRS_t$  no se anticipa).

Según la teoría económica, la cantidad demandada (consumida) de un bien en particular está definida por su precio, por el precio de los productos relacionados, por el ingreso real y por la población. A partir de esta definición teórica se puede establecer la relación funcional empírica de la cantidad demandada de madera aserrada en los siguientes términos. Teóricamente, una variable que explica el comportamiento de la demanda de un bien es el precio; para el caso de este estudio se utilizó el precio real al mayoreo en centros de consumo de la madera aserrada para la construcción.

Por otro lado, se consideró al ingreso real per cápita como una de las variables exógenas que determinan el volumen demandado de madera aserrada, principalmente para vivienda. Asimismo, se incluyó al Índice de Precios al Consumidor de la Vivienda como una variable proxy (de poder o apoderada) del comportamiento de los precios de los demás materiales para la construcción complementarios de la madera aserrada y que influyen en el consumo de ésta.

Se espera una relación inversa entre la cantidad demandada de madera aserrada con su precio (Ley de la demanda), así como con el Índice de Precios al Consumidor de la Vivienda (relación de complementariedad). Por otro lado, se espera que el consumo nacional aparente de madera aserrada guarde una relación directa con el ingreso real per cápita nacional, dado que a mayor riqueza per cápita de la sociedad, se espera una mayor demanda de los productos de madera aserrada. Adicionalmente se considera que el nivel de la función de demanda de madera aserrada también depende del volumen consumido de la madera aserrada en el año anterior (Nerlove, 1958, citado por Luppold, *op. cit.*). A partir de todo lo anterior podemos establecer la siguiente relación funcional:

$$CNAMA_t = \delta_2(PMAC_t, IPP_t, INPCV_t, CNAMA_{t-1}) \quad (2)$$

Donde:

- $CNAMA_t$  = Consumo nacional aparente de madera aserrada en el tiempo  $t$ ,  $\$/m^3r$ .  
 $PMAC_t$  = Precio real de la madera aserrada al consumidor en el tiempo  $t$ ,  $\$/Mm^3r$ .  
 $IPPI_t$  = Ingreso per cápita real en el tiempo  $t$ , Millones de \$.  
 $INPCV_t$  = Índice nacional de precios al consumidor de la Vivienda en el tiempo  $t$ .  
 $CNAMA_{t-1}$  = Consumo nacional aparente de madera aserrada en el tiempo  $t$ , con un retraso de un año,  $Mm^3$

En el modelo se establece una relación de margen de comercialización entre los precios en zonas de consumo y en la región de producción, con el objeto de tener las transmisiones entre éstos y los otros. El precio real de la madera aserrada de coníferas está influenciada por el precio real de la madera en rollo y ésta depende de la zona de extracción, pues la madera aserrada de calidad pasa al secado y la demás se vende tan pronto es aserrada. Adicionalmente, el precio de la madera aserrada de importación influye también sobre el nivel de los precios en zonas de consumo. En este caso se utiliza como variable proxy (de poder o apoderada) del precio de la madera de importación, al valor promedio de las maderas importadas, el cual depende, a su vez, del tipo de cambio. De acuerdo con lo anterior, la relación funcional del precio real de la madera aserrada de coníferas se planteó de la siguiente manera:

$$PMAC_t = \delta_3(PRMA_t, IMPD_t, D3_t) \quad (3)$$

Donde:

- $PMAC_t$  = Precio real de la madera aserrada al mayoreo en zona de consumo el tiempo  $t$ ,  $\$/Mm^3r$ .  
 $PRMA_t$  = Precio real de la madera aserrada en las regiones en el tiempo  $t$ ,  $\$/m^3r$   
 $IMPD_t$  = Valor promedio real de las importaciones de madera en el tiempo  $t$ ,  $\$/m^3r$ .  
 $D3_t$  = Variable dummy (de engaño o falsa) en el tiempo  $t$ , que representa los efectos de la política cambiaria (tipo de cambio real) sobre el valor promedio real de las importaciones.

La variable cualitativa  $D3_t$  toma valores de cero y uno, y refleja periodos de aliento y desaliento de las importaciones, a través de la sobrevaluación o subvaluación de la moneda nacional respecto al dólar estadounidense.

Las relaciones esperadas para la función de precios y sus variables explicatorias son las

directas, esto es, del precio de la madera aserrada en zona de consumo con el precio de la madera aserrada en zona de producción, con el valor promedio real de las importaciones de madera, así como con la variable de clasificación o dummy.

El Saldo de Comercio Exterior es la condición de cierre del modelo, estableciendo de esta forma el equilibrio del mercado de la madera aserrada nacional. La identidad del Saldo de Comercio Exterior suele definirse, para países importadores como:

$$\text{SCEV}_t = \text{VIMP}_t - \text{VEXP}_t \quad (4)$$

(o importaciones netas)

Donde:

$\text{SCEV}_t$  = Saldo del comercio exterior en volumen en el tiempo  $t$ ,  $\text{Mm}^3\text{r}$ .

$\text{VIMP}_t$  = Volumen de importación de madera en el tiempo  $t$ ,  $\text{Mm}^3\text{r}$ .

$\text{VEXP}_t$  = Volumen de exportación de madera en el tiempo  $t$ ,  $\text{Mm}^3\text{r}$ .

El Saldo del Comercio Exterior de un país deficitario (importador) implica que su consumo es mayor a su producción, lo que se puede expresar en términos de la siguiente identidad:

$$\text{SCEV}_t = \text{CNAMA}_t - \text{VPRMAC}_t \quad (5)$$

Que es equivalente al anterior, por lo que finalmente:

$$\text{SCEV}_t = \text{VIMP}_t - \text{VEXP}_t = \text{CNAMA}_t - \text{VPRMA}_t \quad (6)$$

Así, cuando el Saldo de Comercio Exterior es positivo, esto significa que la cantidad consumida de madera aserrada de coníferas es mayor que la cantidad producida, por lo cual es necesario importar para compensar el déficit resultante.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El modelo planteado es una buena aproximación empírica del mercado mexicano de madera aserrada en estudio. Con los resultados obtenidos se analizaron la validez estadística y su congruencia con los fundamentos de la teoría económica. Para el análisis estadístico del modelo se utiliza el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), la  $F$ , el Durbin-Watson y la  $t$  asintótica o "razón de  $t$ ".

En el análisis económico de los resultados se toma en cuenta la magnitud de los parámetros estimados con sus respectivos signos, ya que estos indicadores deben mantener concordancia con cada relación funcional de acuerdo a lo establecido. La magnitud de los parámetros estimados se utilizó para el cálculo de las elasticidades.

Este análisis se realizó en base a los resultados obtenidos en la estimación del modelo econométrico en su forma estructural, cuyos datos se presentan en el Cuadro N° 1.

En tal Cuadro N° 1 se aprecian los coeficientes de determinación de las ecuaciones de regresión del modelo econométrico; para la cantidad producida ( $VPRMA_t$ ) y la consumida ( $CNAMA_t$ ) de la madera aserrada, los coeficientes de determinación fueron de 0.932 y de 0.859, respectivamente; para el precio real de la madera aserrada en consumo ( $PMAC4_t$ ), este coeficiente fue de 0.212.

Función	Variables Predeterminadas					Intercepto	R <sup>2</sup>	DW
$VPRMAR_t$	$PMAR4_t$	$PMAR4_{t-1}$	$RAPS3_t$	$VPRMA_{t-1}$	$DRS3_t$			
Coef.	0.509	0.417	-24.919	0.774	576.895	711.27	0.932	2.65
Error	(0.44) <sub>-</sub>	(0.46) <sub>-</sub>	(53.8) <sub>-</sub>	(0.1) <sub>-</sub>	(313.1)	(884.17) <sub>-</sub>		
$CNAMA_t$	$PMAC4_t$	$IPP1_t$	$INPCV_t$	$CNAMA_{t-1}$				
Coef.	0.359	0.0331	-0.303	0.788		616.73	0.86	2.63
Error	(0.68) <sub>-</sub>	(0.033) <sub>-</sub>	(0.027) <sub>-</sub>	(0.11) <sub>-</sub>		(627.023) <sub>-</sub>		
$PMAC4_t$	$PMAR4_t$	$IMPD4_t$	$D3_t$					
Coef.	0.576	0.00000648	-431.375			1327.516	0.212	0.674
Error	(0.373) <sub>+</sub>	(0.0000142) <sub>++</sub>	(238.676) <sub>++</sub>			(359.191) <sub>+</sub>		

+ Significativo con un 95% de nivel de significancia estadística.

++ No significativo con un 95% de nivel de significancia estadística.

**Cuadro N° 1.** Forma Estructural: Coeficientes Estimados

La identificación de cada variable de la forma estructural del modelo es la siguiente:

$VPRMAR_t$  = Volumen producido de madera aserrada en el tiempo t.

$PMAR4_t$  = Precio real de la madera aserrada en el tiempo t.

$PMAR4_{t-1}$  = Precio real de la madera aserrada con un retraso en el tiempo t.

$RAPS3_t$  = Remuneración anual promedio real del sector silvícola en el tiempo t.

$VPRMA_{t-1}$  = Volumen producido de madera aserrada con un retraso en el tiempo t.

$CNAMA_t$  = Consumo nacional aparente de madera aserrada en el tiempo t.

$PMAC4_t$  = Precio real de la madera aserrada comercial en el tiempo t.

- $IPP1_t$  = Ingreso per cápita real en el tiempo  $t$ .  
 $INPCV_t$  = Índice nacional de precios al consumidor de la vivienda en el tiempo  $t$ .  
 $CNAMA_{t-1}$  = Consumo nacional aparente de madera aserrada con un retraso en el tiempo  $t$ .  
 $PMAC4_{t-1}$  = Precio real de la madera aserrada comercial con un retraso en el tiempo  $t$ .  
 $IMPD4_t$  = Precio promedio real de las importaciones de madera en el tiempo  $t$ .  
 $D3_t$  = Variable de clasificación o dummy en el tiempo  $t$ .  
 $DRS3_t$  = Variable de clasificación o dummy en el tiempo  $t$ .

Asimismo, para las dos primeras relaciones estimadas sus respectivos valores de  $F$  resultaron significativos estadísticamente a un nivel del 95% con el criterio de  $PROB > F$ ; la función del precio real de madera aserrada en consumo ( $PMAC4_t$ ) resultó no significativo estadísticamente para el nivel de probabilidad mencionado.

El estadístico Durbin-Watson indicó que las ecuaciones tienen ciertos problemas de correlación serial positiva pero no negativa, puesto que los resultados fueron 2.650, 2.625 y 0.674 para las funciones de la producción, del consumo y del precio, respectivamente.

Analizar la significancia estadística de cada parámetro individual estimado, encontramos que en la función de la cantidad producida de madera aserrada ( $VPRMA_t$ ), los parámetros estimados del precio real de la madera aserrada con un retraso ( $PMAR_{t-1}$ ), y del precio real de la madera aserrada ( $PRMA_t$ ) resultaron significativos estadísticamente, conforme el valor de  $t$  asíntotica. A su vez, el parámetro para la remuneración anual promedio real del sector silvícola ( $RAPS3_t$ ), resultó no significativa estadísticamente al 95%, pero sí al 0.54%.

Con respecto a la relación funcional de la cantidad demandada de madera aserrada ( $CNAMA_t$ ), todos los parámetros estimados muestran una razón de  $t$  mayor que uno, lo que indica su significancia estadística, excepto la variable correspondiente al precio real de la madera aserrada en consumo ( $PMAC4_t$ ), cuya significancia estadística fue de 47% de probabilidad.

Los resultados del Cuadro N° 1 muestran que la cantidad producida de madera aserrada de coníferas y sus variables explicatorias presentan la relación esperada y los signos esperados. Esto es, que existe una relación directa de  $VPRMA_t$  con el precio real de la madera aserrada ( $PMAR_t$ ), con el precio real de la madera aserrada retrasado ( $PMAR_{t-1}$ ), con el volumen producido de madera aserrada retrasado ( $VPRMA_{t-1}$ ) y con la variable de clasificación o dummy ( $DRS3_t$ ), lo que indica que un aumento unitario en cada una de estas cuatro últimas generará un incremento en la producción.

La variable  $VPRMA_t$  con la remuneración anual promedio real del sector silvícola ( $RAPS3_t$ ), muestra una relación inversa, lo que significa que un aumento unitario en  $RAPS3_t$  provoca un decremento en la producción de madera aserrada.

En lo que respecta a la relación funcional de la cantidad demandada de madera aserrada ( $CNAMA_t$ ), los resultados también muestran los signos esperados en las variables explicatorias; existe una relación inversa entre la cantidad demandada y su precio real en consumo, así como con el Índice Nacional de Precios al Consumidor de la Vivienda, lo cual significa que ante un aumento unitario en el precio real de la madera aserrada ( $PMAR4_t$ ), y del Índice Nacional de Precios al Consumidor de la Vivienda ( $INPCV_t$ ), respectivamente, se verá disminuida la cantidad consumida de madera aserrada.

Con respecto a las otras variables explicatorias, el ingreso real per cápita ( $IPP1_t$ ), y el consumo nacional aparente de madera aserrada con un retraso ( $CNAMA_{t-1}$ ), se presenta una relación directa que se interpreta de la siguiente manera: si ocurre un aumento unitario en dichas variables, habrá un incremento en la cantidad demandada.

Con respecto a la relación funcional del precio real de la madera aserrada ( $PMAR4_t$ ), ésta muestra los signos que se esperaban, es decir, que las variables explicatorias presentan una relación directa en la transmisión de los efectos; esto es, ante un aumento en la unidad en el precio real de la madera aserrada en zonas de producción ( $PMAR4_t$ ) y en el valor promedio real de la importaciones de madera ( $IMPRD4_t$ ), se incrementará consecuentemente el precio real de la madera aserrada en México.

El Cuadro N° 2 presenta los coeficientes de las variables exógenas y endógenas retardadas que determinan a las variables endógenas, e inciden también sobre el saldo del comercio exterior de la madera aserrada. También se puede observar que hay cambios en el intercepto de las variables endógenas del volumen producido de madera aserrada y en el precio real de la madera aserrada comercial, debido a los valores que toman las variables de clasificación; esto es, cuando toman el valor de cero, los interceptos de la oferta y del precio real de la madera aserrada tiene los valores de  $711.270 \text{ Mm}^3$  y  $327.516 \text{ \$/m}^3$  de madera aserrada, respectivamente; y cuando las variables de clasificación toman el valor de uno, los interceptos de la oferta de madera aserrada y del precio de la madera aserrada aumentan a  $1288.17 \text{ Mm}^3$  y a  $896.141 \text{ \$/m}^3$  en el orden mencionado.

Lo anterior puede interpretarse en los siguientes términos: ante un aumento unitario en el precio real de la madera aserrada la cantidad producida de esta madera se incrementará en  $0.5090 \text{ Mm}^3$ ; es decir, que los productores pueden considerar como punto de referencia el precio real de la madera aserrada actual.

Un efecto parecido provocaría un cambio unitario en el precio de la madera aserrada en zona de producción con un año de retraso ( $PMAR4_{t-1}$ ), ya que elevaría la producción en  $0.4175 \text{ Mm}^3$ ; esto sería si se considerara como una expectativa "ingenua". De manera semejante, un incremento unitario observado en la cantidad producida de madera aserrada en el año anterior, tiene el efecto inventario de incrementar en  $0.7743 \text{ m}^3$  la oferta de madera aserrada. Estos indicadores reflejan la actual situación que guardan los productores, pero podrían ser mejorados con cambios en los aspectos de la tecnificación en la industria y en los métodos de manejo de los bosques.

VARIABLES PREDETERMINADAS		ENDÓGENAS				
		VPRMAR <sub>t</sub>	CNAMA <sub>t</sub>		PMAC <sub>4t</sub>	SCEV <sub>t</sub>
Interc.	DRS3 = 0	711.270	139.913	D3 = 0	327.516	-571.357
	DRS3 = 1	1288.17	139.913	D3 = 1	896.141	-993.158
	PMAR4 <sub>t</sub>	0.5090	-0.2069		0.5761	-0.7160
	PMAR4 <sub>t-1</sub>	0.4175				-0.4175
	RAPS3 <sub>t</sub>	-24.9189				24.9189
	VPRMAR <sub>t-1</sub>	0.7743				0.7743
	DRS3 <sub>t</sub>	576.8947				-576.8947
	IPP1 <sub>t</sub>	0.0331				-0.0331
	INPCV <sub>t</sub>	-0.0303				0.0303
	CNAMA <sub>t-1</sub>	0.7880				-0.7880
	IMPD4 <sub>t</sub>		-0.00000023		-0.00000648	-0.00000023
	D3 <sub>t</sub>		402		-431.375	154.9402

**Cuadro N° 2.** Forma Reducida: Coeficientes Estimados

La relación inversa con la remuneración anual promedio real del sector silvícola significa que ante un aumento en una unidad en esta variable explicatoria decrecerá la cantidad producida de madera aserrada en  $-24.9189 \text{ m}^3$ . Lo anterior muestra que no obstante que el salario real que se paga en el sector silvícola es de los más bajos de la actividad económica en México, puesto que allí es donde en parte se encuentra la población que se ha marginado a una pobreza extrema, su efecto sobre la producción es notable.

En la forma reducida, por la simultaneidad definida en la estructura del modelo, la relación funcional de la cantidad demandada de madera aserrada de coníferas está explicada ahora por las mismas variables de la forma estructural, excepto el precio de la madera aserrada en el centro de consumo (PMAC<sub>t</sub>), el que fue sustituido por las variables que lo definieron en su forma estructural, esto es, por el precio en la producción de la madera aserrada actual (PMAR4<sub>t</sub>), por el valor promedio de las importaciones (PIMP4<sub>t</sub>) y por la variable dummy D3<sub>t</sub>.

En el Cuadro N° 2, se observa que por la simultaneidad, los coeficientes de las variables predeterminadas originales de la forma estructural muestran cambios en su magnitud.

Esto es, las variables precio de la madera aserrada en producción y valor promedio de las importaciones establecen una relación inversa con la cantidad demandada de madera aserrada; así que ante incrementos unitarios en aquellas variables, esta última decrecerá.

La identidad del saldo de comercio exterior, que es la condición de cierre, está determinada por todas las variables predeterminadas del sistema de ecuaciones que representa el mercado de la madera aserrada de coníferas en México. Los efectos cuantitativos de todas las variables predeterminadas se muestran en el Cuadro N° 2.

Por el efecto de la transmisión de los precios, cada incremento unitario en el precio real de la madera aserrada actual elevará la cantidad producida de madera aserrada, pero también el precio en centro de consumo de la madera aserrada lo que, a su vez, reducirá la cantidad consumida; luego, los efectos combinados de mayor producción y menor consumo harán que sea menor el saldo de comercio exterior, esto es, se reducirán las importaciones netas de madera aserrada para satisfacer el mercado nacional.

Esto implica que si sube la RAPS3 (i.e., si se encarece la mano de obra), se reducirá la producción; por su parte, si se eleva el IPP1 esto aumentará el consumo; en consecuencia, al juntar ambos efectos de menor producción y mayor consumo se provocará que se incremente el saldo de comercio exterior, es decir, que crezcan las importaciones netas.

Las variables precio real de la madera aserrada, precio real de la madera aserrada con retraso de un año, valor promedio real de la importación de madera e Índice Nacional de Precios al Consumidor de la Vivienda son factores fundamentales que influyen en la cantidad ofrecida, en la cantidad demandada y en el precio real en consumo de la madera aserrada.

En consecuencia, tienen efectos finales sobre el Saldo de Comercio Exterior, ya que éste -por definición- es la suma algebraica de los efectos parciales mencionados. Al agregar los efectos directos e indirectos de todas las variables predeterminadas que afectan la producción y la demanda de la madera aserrada, el resultado conjunto sería una reducción del saldo de comercio exterior de, aproximadamente, 398 Mm<sup>3</sup>r.

En el presente trabajo, la especificación del modelo y los resultados de su estimación permitieron calcular las elasticidades de corto y de largo plazos; las primeras se presentan en el Cuadro N° 3.

Variables Predeterminadas	Variables endógenas			
	VPRMAR <sub>t</sub>	CNAMA <sub>t</sub>	PMAC <sub>4t</sub>	SCEV <sub>t</sub>
PMAR <sub>4t</sub>	0.09	-0.035	0.35	-5.9048
PMAR <sub>4t-1</sub>	0.07			-3.4877
RAPS <sub>3t</sub>	-0.06			2.8892
IPPI <sub>t</sub>		0.25		0.0001
INPCV <sub>t</sub>		-0.023		0.1151
IMPD <sub>4t</sub>		*	0.0041	0.2038

\* Cifra muy pequeña.

### **Cuadro 3.** Forma Reducida: Elasticidades de Corto Plazo.

Para la cantidad producida de madera aserrada, el coeficiente de elasticidad precio real de la madera aserrada resulta mucho menor que la unidad (0.09), lo cual refleja su inelasticidad. Acorde con las expectativas de la oferta de la madera aserrada según Singh y Nautiyal (1983)<sup>9</sup>, Luppold (*op. cit.*) y Tafur (1989)<sup>10</sup>, tal inelasticidad significa que el grado de respuesta (positiva o negativa) de los productores ante los cambios porcentuales que se registran en el precio de la madera aserrada resulta menos que proporcional; lo anterior quiere decir que si el precio real de la madera aserrada del año corriente se eleva en 100%, *ceteris paribus*, esto origina un aumento concomitante de solo 9.0% en la cantidad producida de madera aserrada.

En el caso del efecto de la remuneración anual promedio real del sector silvícola sobre la cantidad producida, el coeficiente de elasticidad (-0.06) refleja una baja respuesta (inelástica) de los productores a las variaciones en el costo de la madera de obra; por tanto, un cambio del 100% *ceteris paribus*, en la remuneración anual promedio real en el sector silvícola repercute específicamente en una disminución de 6.0% en la cantidad producida de madera aserrada.

En la ecuación de la cantidad demandada de la madera aserrada (denotada por CNAMA<sub>t</sub>), los resultados indican relaciones inelásticas entre la demanda y sus variables determinantes. En el Cuadro N° 3 se observa que dada la transmisión de precios, el coeficiente de la elasticidad

9 Nautiyal, J. C. and B. K. Singh. 1983. Using derived demand techniques to estimate Ontario Roundwood demand. *Can. J. For. Res.* 13(6):1174-1184.

10 Tafur, A. I. V. 1989. Análisis Econométrico de la Industria Forestal de Madera Aserrada en Perú. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. pp. 162.

precio en producción real de la madera aserrada revela ser muy inelástico, puesto que por cada aumento del 100%, *ceteris paribus*, en este precio se origina una respuesta menos que proporcional de los demandantes, ya que estos disminuyen la demanda de madera aserrada en sólo 3.5%, es decir, prácticamente no hay cambio. Por lo tanto, cualquier intento para reducir (o aumentar) la demanda de madera aserrada vía precio de la madera aserrada no obtendría cambios notables como resultado, ya que los demandantes no muestran gran sensibilidad a las posibles variaciones de la madera aserrada.

Con respecto al coeficiente de elasticidad ingreso real per cápita de la demanda de la madera aserrada, este es positivo y menor que uno (0.25), lo que clasifica a este producto como un bien normal cuyo consumo no está satisfecho, lo cual significa que ante un aumento del 100%, *ceteris paribus*, en el ingreso real per cápita la demanda de madera aserrada se incrementará en un 25.0%.

Entre el Índice Nacional de Precios al Consumidor de la vivienda -que representa el efecto de los demás materiales de construcción- y la demanda de madera aserrada, existe una relación de complementariedad, lo que significa que ante un cambio del 100%, *ceteris paribus*, en el índice mencionado, la demanda de madera aserrada disminuirá en sólo 2.3% lo que manifiesta que su impacto es muy pequeño. Los coeficientes de las elasticidades de transmisión del precio real de la madera aserrada y del valor promedio real de las importaciones de madera sobre el precio real en consumo de la madera aserrada, nos muestran que ante cambios del 100%, *ceteris paribus*, en el precio real de la madera aserrada y en el valor promedio real de las importaciones de madera, estos repercutirán incrementando en 35% y 0.41% respectivamente, el precio real de la madera aserrada.

La forma reducida del modelo econométrico hace posible conocer el efecto que tienen todas las variables predeterminadas del modelo sobre el saldo del comercio exterior de la madera aserrada; particularmente interesa destacar las repercusiones de algunas de las principales variables sobre tal saldo. Por el lado de la oferta, si aumentan el precio real en producción de la madera aserrada y el precio real de la madera aserrada con retraso de un año, en un 100%, *ceteris paribus*, se reducirá en -590.48 y -348.77 Mm<sup>3</sup>r el saldo del comercio exterior; esto demuestra que resultaría posible hacer menor este saldo mediante la estimulación de la producción por medio de políticas de incentivos e inversiones en el sector forestal. De manera contraria, cada elevación a la remuneración anual promedio real en el sector silvícola, del 100%, *ceteris paribus*, -haría menor la cantidad producida de madera aserrada- lo que lograría que el saldo de comercio exterior aumentara en 288.92 Mm<sup>3</sup>r. Lo anterior significa que sería mejor incentivar a la producción que desalentar el consumo vía precios, para modificar el saldo de comercio exterior de la madera aserrada en México, por los mayores efectos de la primera sobre éste último.

## CONCLUSIONES

En base a la información analizada y a los resultados obtenidos en el presente estudio se derivan las siguientes:

1. En la mayoría de los casos, los signos que se muestran vía resultados obtenidos están de acuerdo con la teoría económica.
2. El nivel de significancia estadística de los coeficientes de las variables explicatorias es el adecuado bajo el criterio de el estadístico t.
3. La producción de madera aserrada reacciona en forma directa al precio real de la madera aserrada en el año corriente y con el precio real con un año de retraso, así como al volumen producido de madera aserrada con un año de retraso.
4. Por el contrario, la relación inversa con la remuneración anual promedio real para el trabajador del sector silvícola, significa que la producción decrecerá si se incrementa esta última variable.
5. La elasticidad precio de la oferta de madera aserrada, (0.09) muestra que este producto es muy inelástico, es decir, que los productores de madera aserrada responden menos que proporcional ante los cambios de precios reales de la madera; estos resultados revelan que para incrementar la producción de madera aserrada se tiene que dar incrementos más que proporcionales en los precios reales.
6. La demanda de madera aserrada presenta una relación inversa con su precio real, asimismo con el Índice Nacional de Precios al Consumidor en la Vivienda, lo que nos indica que ante un aumento en la unidad en su precio como también en el índice, disminuirá la demanda de la madera aserrada.
7. La demanda de madera aserrada responde directamente a los cambios en el ingreso per cápita real.
8. Los aumentos en el precio de la madera en zonas de producción se transmiten de manera directa al precio de la madera aserrada en centros de consumo, aunque en forma menos que proporcional.
9. El efecto del valor promedio de las importaciones sobre el precio en consumo de la madera aserrada no resultó muy notable, dada la heterogénea composición de la canasta de productos forestales que integran las importaciones y las diferentes políticas cambiarias.

10. Las variables precios en zonas de producción en el tiempo  $t$  y con un retraso, así como la remuneración promedio anual para el trabajador del sector silvícola, todos de la función de oferta, revelan los más notables efectos sobre el saldo de comercio exterior.

## BIBLIOGRAFÍA

- Banco de México, S.A. 1989. Informe Anual. Apéndice Estadístico. México, D.F. pp 235.
- Cámara Nacional de las Industrias Derivadas de la Silvicultura. 1989. Memoria Económica (1970-1988). México, D.F.
- Cámara Nacional de la Industria Forestal. 1984. Memoria Estadística (1988-1993). México, D.F.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 1990. Estados Unidos Mexicanos, resultados definitivos, síntesis de resultados, XI censo general de población y vivienda, 1990. Aguascalientes, Ags. 99 p.
- \_\_\_\_\_. 1993. Sistema de Cuentas Nacionales de México, Oferta y Demanda Global y Producto Interno Bruto Anual a precios Constantes de 1980=100, serie 1960-1993. México D.F. pp. 121-127.
- \_\_\_\_\_. 1993. Sistema de Cuentas Nacionales de México, Cuentas de producción a precios corrientes y constantes serie 1990-1993. Tomo III México D.F. pp. 61-64.
- International Monetary Fund, International Financial Statistics Yearbook. 1995. Vol. XLVIII, pp. 118-119.
- Nacional Financiera (NAFIN). 1993. Economía Mexicana en Cifras, México, D.F. pp. 384-389.
- Nautiyal, J. C. and B. K. Singh. 1983. Using derived demand techniques to estimate Ontario Roundwood demand. Can. J. For. Res. 13(6):1174-1184.
- \_\_\_\_\_. 1985. Production structure and derived demand for factor inputs in the canadian lumber industry. For Sci. 31(4):871-881.
- Luppold, G. S. 1985. Demand, Supply and price of hardwood Lumber: An Econometric Study. Tesis Doctor of Philosophy in Agricultural Economics, Faculty of Virginia Polytechnic Institute. Blacksberg, Virginia.
- Tafur, A. I. V. 1989. Análisis Econométrico de la Industria Forestal de Madera Aserrada en Perú. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. pp. 162.

# INFLUENCIA DEL USO DEL SUELO EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE SUELOS FORESTALES EN EL SUROESTE DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA Y NORTE DE MEXICO.

Villanueva Díaz José<sup>1</sup>  
McPherson Guy, R.<sup>2</sup>

## RESUMEN

Un estudio comparativo de la influencia del uso del suelo en las características físico-químicas de suelos en ecosistemas forestales, se llevó a cabo en Animas Mountains, Nuevo México y Sierra de los Ajos, Sonora. Variaciones en el uso del suelo entre ambas montañas aparentemente afectaron muchas de sus características edáficas. Las diferencias observadas con relación a profundidad de mantillo orgánico, materia orgánica, nitrógeno total, pH, capacidad de intercambio catiónico, cationes intercambiables ( $Mg^{+2}$ ,  $Na^{+}$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $K^{+}$ ), fosfato y iones solubles ( $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $CO_3^{-2}$ ,  $HCO_3^{-}$ ,  $SO_4^{-2}$ ,  $Cl^{-}$ ) pudieran explicarse en términos de intensidad y frecuencia de incendios, aprovechamientos maderables y frecuencia e intensidad de pastoreo. Algunos de los efectos esperados como consecuencia de incendios frecuentes y de baja intensidad en la Sierra de los Ajos pueden haber sido enmascarados o disminuidos debido a la erosión del suelo que se vio favorecida por el sobrepastoreo, aprovechamientos forestales y actividades mineras. Dentro de una montaña variaciones en precipitación como consecuencia de cambios en elevación, explicó la gran mayoría, aunque no todos los patrones físico-químico de suelos observados en montañas ecológicamente similares del suroeste Americano. Un conocimiento mas detallado de los usos históricos del suelo, ayudaría a entender y a interpretar con mayor claridad los patrones observados en este estudio.

Palabras clave: Uso del suelo, incendios, sobrepastoreo, composición química.

---

<sup>1</sup> Ph.D. Investigador del Campo Experimental San Luis Potosí. CIR-Noreste, INIFAP, SAGAR

<sup>2</sup> Ph.D. Profesor Asociado, School of Renewable Natural Resources. University of Arizona, Tucson, AZ.

## ABSTRACT

A comparative study to determine the influence of land-use history on the physical and soil chemical characteristics of forest ecosystems was developed. The study was located in two mountain ranges, one in Animas Mountains, New Mexico and the other one in Sierra de los Ajos, Sonora, Mexico. Land-use differences between mountain ranges apparently affected many soil characteristics such as duff depth, organic matter, total nitrogen, pH, cation exchange capacity, exchangeable cations ( $Mg^{+2}$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $K^+$ ), phosphates, and soluble ions ( $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $CO_3^{-2}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{-2}$ ,  $Cl^-$ ). Soil characteristic differences could be explained in terms of differential fire frequency, timber harvesting, and cattle grazing. Some of the expected effects of frequent fires on soil characteristics in Sierra de los Ajos may have been negated or overridden by effects of soil erosion as related to livestock grazing, timber harvesting, and mining activities. Within a mountain range, precipitation-induced differences in elevation explained many, but not all, soil physical and chemical patterns. More detailed knowledge of historical land uses and a richer comparative literature would strengthen the ability to interpret patterns observed in this study.

Key words: Land-use history, fires, overgrazing, and soil chemical composition.

## INTRODUCCIÓN

El historial de manejo al que ha estado sujeto un ecosistema forestal es fundamental para entender e interpretar los cambios en las propiedades edáficas del suelo y derivar acciones de manejo. La habilidad de los suelos para proporcionar nutrientes disponibles a las plantas, está influenciada por la concentración relativa de elementos en la fracción de intercambio del suelo (arcilla, materia orgánica) y por la velocidad a la que esos iones son liberados a la solución del suelo. En condiciones naturales los incendios forestales desempeñan un papel preponderante en el ciclo de nutrientes, liberando iones que estarían de otra manera fuertemente ligados a componentes orgánicos por periodos de tiempo indefinidos.

Mucha investigación se ha realizado para estudiar los efectos posteriores de incendios naturales e incendios prescritos en los nutrientes del suelo (DeBano *et al.*, 1979<sup>3</sup>;

---

<sup>3</sup> DeBano, L.F. *et al.* 1979. Effects of burning in chaparral soils: I. Soil nitrogen. pp. 504-514.

Covington and Sackett, 1984<sup>4</sup>; Ryan and Covington, 1986<sup>5</sup>; Wienhold and Klemmedson, 1992<sup>6</sup>). Sin embargo, no existen estudios enfocados a determinar la composición química de suelos en bosques con diferentes historiales de uso del suelo; es decir sitios forestales sujetos a la supresión de incendios y pastoreo en comparación a sitios sin control o con escaso control de incendios, aprovechamientos forestales, minería y pastoreo.

La hipótesis en este estudio es que en condiciones equivalentes de clima y de fisiografía, la concentración de nutrientes variará entre sitios con diferente historial de uso del suelo. Se espera que la concentración de nutrientes cambie entre sitios como consecuencia de diferencias climáticas producidas por cambios en elevación, independientemente de diferencias en el uso del suelo. En consecuencia, los objetivos de este estudio son: (1) comparar la composición de ciertos componentes morfológicos y químicos de sitios similares en ambiente ecológico pero con diferente historial de uso del suelo y (2) comparar la composición química de suelos a lo largo de un gradiente altitudinal en montañas localizadas en el área fronteriza de Nuevo México, E.U.A., y Sonora, México.

## REVISIÓN DE LITERATURA

El conocimiento del ciclo de nutrientes es de vital importancia para un adecuado manejo de los ecosistemas forestales. La capacidad de un suelo para proporcionar nutrientes en cantidad necesaria para satisfacer los requerimientos de las plantas es determinado no solamente por la concentración relativa de elementos en las partículas (arcillas, materia orgánica) y solución del suelo, sino también por las tasas a las cuales esos elementos son regresados al suelo debido al ciclo de nutrientes. En condiciones naturales los incendios forestales juegan un papel preponderante en el ciclo de nutrientes, liberando iones que estarían de otra manera fuertemente ligados a componentes orgánicos por periodos de tiempo prolongados. La acumulación ininterrumpida de materia orgánica en el piso forestal es indeseable para propósitos de manejo de ecosistemas forestales, debido a que el ciclo de nutrientes se hace mas lento y se incrementa el peligro de incendios (Cooper, 1960<sup>7</sup>; Dodge, 1972<sup>8</sup>; Covington and Sackett, *op. cit*)

---

<sup>4</sup> Covington, W. W. and S. S. Sackett. 1984. The effect of a prescribed burn in southwestern ponderosa pine on organic matter and nutrients in woody debris and forest floor. Forest Science 30:183-192.

<sup>5</sup> Rayn, M.G. and W.W. Covington. 1986. Effect of prescribed burn in ponderosa pine on inorganic N concentrations of mineral soils.

<sup>6</sup> Wienhold, B.J. and J.O. Klemmedson. 1992. Effect of prescribed fire on N and phosphorous in Arizona chaparral soil-plant systems. pp. 285-296.

<sup>7</sup> Cooper, C.F. 1960. Changes in vegetation, structure and growth of ponderosa pine forests since white settlement. pp. 129-164.

En la época Prehispánica la presencia de incendios forestales de baja intensidad fue un denominador común en la región del suroeste de los Estados Unidos de América y del norte de México, lo cual contribuyó a un bosque con una apariencia abierta tipo parque y abundantes gramíneas en el estrato herbáceo (Weaver, 1951<sup>9</sup>; Cooper, *op. cit.*; Dieterich, 1983<sup>10</sup>; Dieterich and Swetnam, 1984<sup>11</sup>; Covington and Moore, 1994<sup>12</sup>; Swetnam and Baisan, 1996a<sup>13</sup>, 1996b<sup>14</sup>). Las actividades de los colonizadores en esta región afectaron seriamente el régimen natural de incendios y en consecuencia influenciaron el ciclo de nutrientes. Los árboles fueron cortados y usados como material de construcción, pilotes para minería y como leña; la construcción de caminos interrumpió la continuidad del material combustible y el sobrepastoreo por ganado bovino y ovino redujo drásticamente en determinados sitios el mantillo orgánico más fino importante para el proceso de ignición y dispersión de incendios (Cooper, *op. cit.*; Dodge, *op. cit.*).

El Servicio Forestal de los Estados Unidos de América y Agencias Estatales iniciaron el control de incendios a partir de 1904. sin embargo, esta práctica se eficientó solo hasta después de la Segunda Guerra Mundial cuando se mejoró la tecnología utilizada y se implementó nuevo equipo para su control (Allen, 1995)<sup>15</sup>. Actualmente la mayoría de los incendios forestales en dicho país son apagados cuando han afectado una superficie menor a una hectárea.

El control de incendios a largo plazo ha originado una acumulación excesiva de materia orgánica en el piso forestal, incrementando de esta manera el peligro de incendios de alta intensidad; desacelerando el ciclo de nutrientes, alterando las condiciones ecológicas y cambiando la composición florística y dinámica del bosque. Durante el presente siglo, ciertos bosques dominados por especies intolerantes a la sombra y adaptadas al incendio como pino ponderosa (*Pinus ponderosa* var. *arizonica*) han sido gradualmente reemplazados por especies tolerantes a la sombra pero menos resistentes al fuego como Douglas-fir o pinabete (*Pseudotsuga menziesii* var. *glauca*) y pino fronterizo (*Pinus strobiformis*) (Peet, 1981<sup>16</sup>; Villanueva and McPherson, 1995<sup>17</sup>).

---

<sup>8</sup> Dodge, M. 1972. Forest fuel accumulation: a growing problem. pp. 139-141.

<sup>9</sup> Weaver, H. 1951. Fire as an ecological factor in the southwestern ponderosa pine forests. pp. 93-98.

<sup>10</sup> Dieterich, J.H. 1983. Historia de los incendios forestales en la Sierra de los Ajos.

<sup>11</sup> Dieterich, J.H. and T.W. Swetnam. 1984. Dendrochronology of a fire-scarred ponderosa pine. pp. 238-247.

<sup>12</sup> Covington, W.W. and M.M. Moore. 1994. Southwestern ponderosa forest structure: changes since Euro-American settlement. pp. 39-47.

<sup>13</sup> Swetnam, T.W. and C. Baisan. 1996a, in press. Historical fire regime patterns in the SW United States since AD 1700.

<sup>14</sup> Swetnam, T.W. and C. Baisan. 1996b. Fire history of montane forests in the Madrean Borderlands. pp. 15-36

<sup>15</sup> Allen, L.S. 1995. Fire management in the sky islands. pp. 19-23.

<sup>16</sup> Peet, R.K. 1981. Forest vegetation of the Colorado Range. pp. 3-75.

<sup>17</sup> Villanueva, D.J. and G.R. McPherson. 1995. Forest structure in mountains of Sonora, México and New Mexico. pp. 416-423.

En contraste al régimen de incendios forestales en el sudoeste de los Estados Unidos de América, los bosques del norte de México no han experimentado con la misma intensidad y efectividad la supresión de incendios (Baisan and Swetnam, 1995<sup>18</sup>; Minnich y Bahre, 1995<sup>19</sup>; Swetnam y Baisan, 1996a, *op cit.*). De esta manera, la apariencia abierta de muchos bosques del norte de México se ha conservado (Fulé y Covington, 1995)<sup>20</sup>. Presumiblemente el ciclo de nutrientes tampoco ha sido interrumpido.

El material parental es uno de los factores que influye en el tipo de suelo, vegetación, propiedades del ecosistema y su influencia es particularmente notable en suelos inmaduros, es decir suelos forestales del suroeste Americano. Los suelos derivados de diferente material parental se comparan frecuentemente con respecto a su fertilidad. Rocas ígneas ácidas como la riolita desarrollan suelos relativamente infértiles comparadas con rocas ígneas básicas que originan suelos fértiles (Welch, 1973)<sup>21</sup>. El material parental influencia la productividad del bosque a través de sus efectos en las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo pero su influencia puede ser modificada por el clima.

Las arcillas desempeñan un papel importante en muchas propiedades físicas y químicas del suelo, por ejemplo, afectando tasas de infiltración, capacidad de intercambio catiónico, retención del agua y pueden influenciar significativamente el desarrollo de comunidades vegetales (Bohn *et al.*, 1985<sup>22</sup>; Jury *et al.*, 1991<sup>23</sup>). Las arcillas tipo 1:1 tales como caolinita generalmente ocurren en climas cálido-húmedos con alta precipitación provocando alta lixiviación de bases ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^{+}$ ,  $\text{K}^{+}$ ) y sílica soluble. En contraste, arcillas tipo 2:1 pertenecientes al grupo de las esmectitas como montmorillonita son más dominantes en climas áridos. Finalmente, las arcillas tipo 2:1:1 como la clorita ocurren ampliamente en muchos tipos de suelos (Birkeland, 1974<sup>24</sup>; Barnhisel, 1977<sup>25</sup>; Borchardt, 1977<sup>26</sup>; Bohn *et al.*, *op. cit.*; Reheis, 1990<sup>27</sup>; Alexander *et al.*, 1993<sup>28</sup>).

---

<sup>18</sup> Baisan, C.H. and T.W. Swetnam. 1995. Historical fire occurrence in remote mountains of southwestern NM and northern Mexico. pp. 153-156.

<sup>19</sup> Minich, R.A and C.J. Bahre. 1995. Wildland fire and chaparral succession along the California-Baja California boundary. pp. 13-24.

<sup>20</sup> Fulé, P.Z. and W.W. Covington. 1995. Changes in fire regime. pp. 408-415.

<sup>21</sup> Welch, T.G. 1973. Distribution of N and C in ponderosa pine ecosystems as function of parent material.

<sup>22</sup> Bohn, H.L. *et al.* 1985. Soil Chemistry. 2nd. Edit.

<sup>23</sup> Jury, W.A. *et al.* 1991. Soil Physics. 5th. Edit.

<sup>24</sup> Birkeland, P.W. 1974. Pedology, Weathering and Geomorphological Research

<sup>25</sup> Barnhisel, R.I. 1977. Chlorites and hydroxy interlayered vermiculite and smectite. pp. 331-356.

<sup>26</sup> Borchardt, G.A. 1977. Montmorillonite and other smectite minerals. pp. 293-330.

<sup>27</sup> Reheis, M.C. 1990. Influence of climate and eolian dust on the major-element chemistry and clay mineralogy of soils in the northern Bighorn Basin, USA. pp. 219-248.

<sup>28</sup> Alexander, E.B. *et al.* 1995. Soil elevation relationships on a volcanic plateau in the southern Cascade range, northern, California, USA. pp. 113-128.

El efecto del incendio en las arcillas es mínimo por dos razones: primero la mayoría de las arcillas se localizan en el horizonte B, donde las temperaturas que en la superficie del suelo pueden alcanzar entre 400 a 800 °C difícilmente logran penetrar más allá de los 15 cm y segundo en el caso de que en la superficie del suelo existieran arcillas como aquellas derivadas de depósitos sedimentarios u horizontes B truncados, solo los incendios de mayor intensidad alcanzarían la temperatura suficiente para alterar esas arcillas. El resultado en tal situación sería la formación de partículas de mayor dimensión debido al efecto cementante de las partículas de arcilla, lo cual incrementaría la erodibilidad de estos suelos (Chandler *et al.*, 1983)<sup>29</sup>.

Los fragmentos de rocas (partículas mayores a 2 mm) tienen una influencia significativa directa en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Childs and Flint, 1990)<sup>30</sup>. Las gravas (0.2 - 7.6 cm), guijarros (7.6 - 25.4 cm) y rocas (> 25.4 cm) toman espacio que de otra manera sería ocupado por las partículas del suelo menores a 2 mm en diámetro. Los fragmentos rocosos en la superficie y dentro del perfil del suelo afectan la compactación, infiltración, escurrimiento y erosión. Los suelos con grandes cantidades de fragmentos rocosos retienen menos humedad por unidad de volumen que los suelos de textura fina, pero la penetración del agua es más rápida y más profunda. En consecuencia el agua se almacena a mayor profundidad en el perfil del suelo donde puede ser utilizada por árboles con sistema radical profundo. De esta manera, algunas relaciones biofísicas entre la proporción de fragmentos rocosos y productividad de las plantas se pueden relacionar a los atributos físicos y químicos del suelo, así como a contenido de humedad, temperatura y condiciones microambientales (Boyles and Tajchman, 1984<sup>31</sup>; Childs and Flint, *op. cit.*).

El color del suelo es usado para su identificación y clasificación (Soil Survey Staff, 1975)<sup>32</sup>. El sistema Munsell usa tres elementos (matiz, valor y tonalidad) para describir un color específico. El color del suelo es un factor de poca importancia para el desarrollo del árbol, sin embargo, sirve como indicador de varias de sus características, tales como origen geológico y grado de mineralización del material madre. Relaciones cuantitativas entre color y contenido de materia orgánica se han usado para explicar el contenido de nitrógeno total y mineralizable en suelos forestales (Fernández *et al.*, 1988<sup>33</sup>; Quian *et al.*, 1993<sup>34</sup>; Schulze *et al.*, 1993<sup>35</sup>).

---

<sup>29</sup> Chandler, C.P. *et al.* 1983. *Fire in Forestry*. Vol. 1. John Wiley & Sons.

<sup>30</sup> Childs, S.W. and A.L. Flint. 1990. Physical properties of forest soils containing rock fragments. pp. 95-121.

<sup>31</sup> Boyles, R.L. and S.J. Tajchman. 1984. Stonine and rockiness of a forested Appalachian catchment. pp. 311-322.

<sup>32</sup> Soil Survey Staff. 1975. *Soil Taxonomy*. Handbook 436. 754 p.

<sup>33</sup> Fernandez, R.N. *et al.* 1988. Color, organic matter, and pesticide adsorption relationships in a soil landscape. pp. 1023-1026.

<sup>34</sup> Qian, H.K. *et al.* 1993. Relationship between color value and nitrogen in forest mineral soils. pp. 61-72.

<sup>35</sup> Schulze, D.G. *et al.* 1993. Significance of organic matter in determining soil colors. pp. 71-89.

La productividad de un suelo forestal es función de una combinación de factores físico-químicos y del clima. La densidad aparente, textura y profundidad de suelo afectan muchos fenómenos físicos de transporte como son la infiltración, percolación profunda, intercambio de gases y procesos de retención como son la capacidad de almacenamiento de agua y capacidad de intercambio catiónico. Incrementos en la profundidad del suelo tienden a asociarse con incrementos tanto en el suministro de nutrientes como en la capacidad de retención de agua.

La materia orgánica (MO) es importante en suelos forestales ya que representa un depósito de varios elementos esenciales, favorece buena estructura del suelo, es una fuente de cationes intercambiables, evita cambios bruscos de pH, promueve buena aireación e incrementa la cantidad de agua disponible en el suelo. En las montañas del suroeste de los Estados Unidos de América y del norte de México el contenido de MO está muy correlacionado a gradientes altitudinales. La MO aumenta conforme se incrementa en elevación (Whittaker *et al.*, 1968<sup>36</sup>; Hanawalt and Whittaker, 1977<sup>37</sup>; Barton, 1994<sup>38</sup>).

El efecto del incendio en los suelos es una reducción neta de la MO. Sin embargo, la cantidad de MO perdida durante un incendio es altamente variable y depende de la frecuencia e intensidad del incendio, clima prevaleciente durante el incendio y de las características fisiográficas del sitio (DeBano and Conrad, 1978<sup>39</sup>; DeBano *et al.*, *op. cit.*; Chandler *et al.*, *op. cit.*; Covington and Sackett, *op. cit.*).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se refiere a la habilidad de los suelos para absorber e intercambiar cationes (Rhoades, 1982)<sup>40</sup> y está influenciada por la presencia de cargas negativas en las arcillas y en la MO. La productividad de los bosques en Norte América generalmente se relaciona positivamente a la CIC de los suelos. La CIC de un suelo puede disminuir por los incendios y permanecer baja por más de un año, debido a la destrucción de sitios de intercambio presentes en la MO (Christensen and Muller, 1975)<sup>41</sup>.

El pH, el grado de ionización del agua, es uno de los mejores indicadores de las propiedades químicas del suelo (McLean, 1982)<sup>42</sup>. La disponibilidad de la mayoría de

---

<sup>36</sup> Whitting, L.D. *et al.* 1968. X-ray diffraction techniques. pp. 331-359.

<sup>37</sup> Hanawalt, R.B. and R.H. Whittaker. 1977. Altitudinal patterns of Na, K, Ca, and Mg in soils and plants, in the San Jacinto Mountains, CA. pp. 25-36.

<sup>38</sup> Barton, A.M. 1994. Gradient analysis of relationships among fire, environment, and vegetation in a southwestern USA mountain range. pp. 251-265.

<sup>39</sup> DeBano, L.F. and C.E. Conrad. 1978. The effect of fire on nutrients in a chaparral ecosystem. pp. 489-497.

<sup>40</sup> Rhoades, J.D. 1982. Soluble salts. pp. 167-179.

<sup>41</sup> Christensen, N.L. and C.H. Muller. 1975. Effects of fire on factors controlling plant growth in *Adenostoma* chaparral. pp. 29-55.

<sup>42</sup> McLean, E.O. 1982. Soil pH and lime requirements. pp. 199-209.

los macronutrientes y micronutrientes esenciales depende del pH. En las montañas del suroeste Americano, el pH generalmente disminuye conforme se incrementa la elevación, influenciado por un gradiente de precipitación. Mayor precipitación lixivian los cationes básicos a profundidades donde las raíces de las plantas difícilmente pueden aprovecharlos. Alternativamente, el pH se incrementa como resultado de la combustión de la MO. El incremento en pH depende de la cantidad de ceniza liberada, composición química de la ceniza y aridez del clima (Wells *et al.*, 1979<sup>43</sup>; Chandler *et al.*, *op. cit.*).

Tanto los cationes intercambiables ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+$ ) como los cationes solubles ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) disminuyen con incrementos en altitud en las montañas del suroeste Americano. Este patrón resulta de gradientes de precipitación, evapotranspiración y lixiviación producidos por cambios en elevación (Whittaker *et al.*, *op. cit.*; Hanawalt and Whittaker, *op. cit.*). La exposición y dirección de la pendiente influencia la temperatura del suelo, tasa de evapotranspiración, MO y disponibilidad de nutrientes. Exposiciones norte y este generalmente muestran menores tasas de evapotranspiración comparadas a las exposiciones sur y oeste producido por menores tasas de energía solar recibida. De esta manera, incrementos en el contenido de humedad afectan la disponibilidad de cationes solubles e intercambiables (Pritchett, 1979<sup>44</sup>; Bohn *et al.*, *op. cit.*).

Los cambios en las propiedades químicas de los suelos durante los incendios están relacionados principalmente a la rápida conversión u oxidación de nutrientes contenidos en materiales orgánicos presentes en la superficie del suelo. El nitrógeno total y el fósforo disminuyen directamente en relación a la severidad del incendio, estos componentes a su vez pueden volatilizarse especialmente en incendios de alta intensidad (DeBano and Conrad, *op. cit.*; DeBano *et al.*, *op. cit.*; Chandler *et al.*, *op. cit.*; Covington and Sackett, *op. cit.*; Raison *et al.*, 1985<sup>45</sup>). El nitrógeno amoniacal se incrementa debido a la descomposición térmica de las proteínas y aminoácidos presentes en la materia orgánica y aumenta la disponibilidad de potasio, calcio y magnesio (Raison *et al.*, *op. cit.*). Los incrementos en disponibilidad de nutrientes son mayores después del incendio y su efecto para ciertos iones puede perdurar por más de cinco años (Wells *et al.*, *op. cit.*).

---

<sup>43</sup> Wells, C.G. *et al.* 1979. Effects of fire on soil: a state-of-knowledge review. 34 p.

<sup>44</sup> Pritchett, L.W. 1979. Properties and Management of Forest Soils. 500 p.

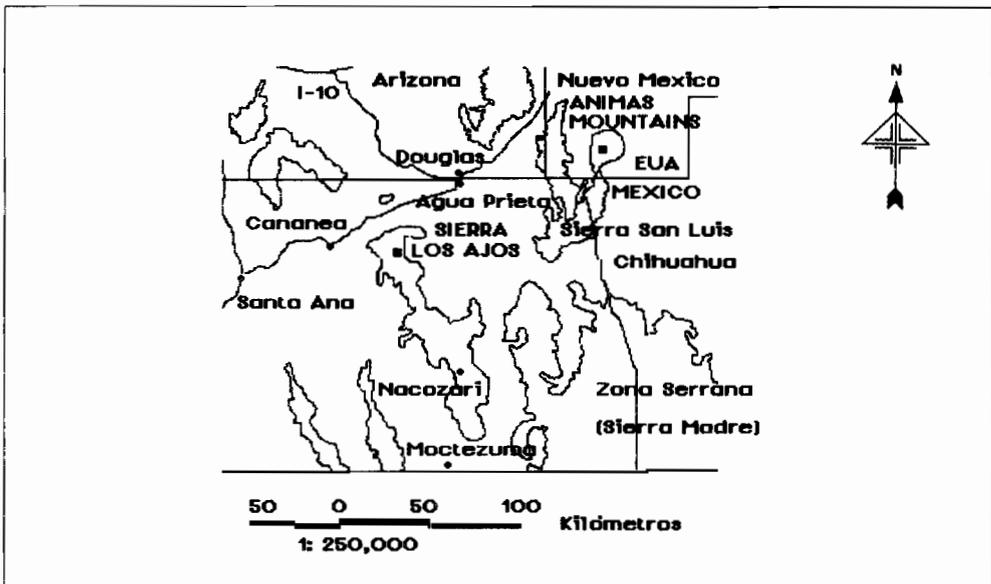
<sup>45</sup> Raison, R.J. *et al.* 1985. Mechanisms of element transfer to the atmosphere during vegetation fires. pp. 132-140.

## SITIOS DE ESTUDIO

### Animas Mountains y Sierra de los Ajos

Animas Mountains (AM) es la montaña más alta en el sudoeste de Nuevo México, (E.U.A.), con una extensión de 100 km<sup>2</sup> dentro del Gray Ranch. Se localiza en la parte sur del condado Hidalgo, con dos picos principales aproximadamente 28 km al norte de la frontera de los Estados Unidos de América con México. El pico más alto de esta montaña alcanza una altura de 2,600 m.

La Sierra de los Ajos (SLA) se localiza en el estado de Sonora, México, aproximadamente 100 km al suroeste de AM. Su elevación máxima es de 2,600 m, con una superficie total de 171 km<sup>2</sup> (Figura N° 1).



**Figura N° 1.** Localización geográfica de las montañas Animas Mountains, Nuevo México y Sierra de los Ajos, Sonora.

**Geología y suelos.** AM y la SLA se formaron durante la época Terciaria, con formaciones rocosas de riolita, basaltos y tobas. La topografía de estas montañas es

muy escarpada, dominando los suelos someros menores de 50 cm de profundidad (Soil Conservation Service, 1973<sup>46</sup>; Aponte, 1997<sup>47</sup>).

**Clima.** AM y la SLA se caracterizan por un patrón de precipitación bimodal, aproximadamente 60% de la precipitación anual (450-750 mm) se presentan en el periodo julio-septiembre y el 40% se recibe durante el periodo invernal. La temperatura es muy variable, registrándose temperaturas mayores a 32° C durante los meses de verano y de 12 a -5° C durante los meses de invierno.

**Vegetación.** La cercanía de AM y de SLA a la Sierra Madre Occidental y a la parte sur de las Montañas Rocallosas ha resultado en una composición florística muy rica (Wagner, 1977<sup>48</sup>; Brown, 1982<sup>49</sup>; Fishbein *et al.*, 1995<sup>50</sup>).

La vegetación de la parte alta de AM, se clasifica en tres categorías: encinar bajo; encinar alto y bosque de coníferas. El bosque de coníferas cubre aproximadamente 450 ha entre los 1,980 y 2,600 m (Hubbard 1977<sup>51</sup>, Wagner, *op. cit.*). Las principales especies en esta comunidad son Douglas-fir o pinabete, localizado en cañones y laderas de montañas, preferentemente en exposición norte. Otras especies presentes son pino fronterizo, pino ponderosa y pino chihuahuense (*Pinus leiophyla* var. *chihuahuana*). Entre 2,300 y 2,600 m se localiza pino ponderosa, pino fronterizo y pino apache (*Pinus engelmannii*) (Wagner, *op. cit.*). La comunidad de piñón-junípero se encuentra entre 2,300 y 2,450 m y esta compuesta de pino piñonero (*Pinus discolor*), cedrillo (*Juniperus deppeana*) y diversas especies de encino (*Quercus* spp.).

En la SLA habitan comunidades bióticas clasificadas como bosque mixto de coníferas, chaparral montano, encinar y vegetación riparia (Garza-Salazar, 1993<sup>52</sup>; Solís *et al.*, 1993<sup>53</sup>; Fishbein *et al.*, *op. cit.*). El bosque mixto de coníferas se encuentra restringido a exposiciones norte entre 1,900 a 2,600 m de altura. Las especies dominantes son Douglas-fir o pinabete asociado con encino gambel (*Quercus gambelii*) y madroño (*Arbutus arizonica*). La asociación pino-encino se encuentra entre 1,500 a 2,000 m de altura. Las especies dominantes son pino chihuahuana, pino piñonero, encino emory (*Quercus emoryi*), encino hoja plateada (*Quercus hypoleucoides*) y encino arizonica (*Quercus arizonica*).

---

<sup>46</sup> Soil Conservation Service. 1973. Soil Survey of Hidalgo County, NM. 754 p.

<sup>47</sup> Aponte, M.B. 1974. Estratigrafía del Paleozoico (Cámbrico-Pensilvánico) del centro de Sonora.

<sup>48</sup> Wagner, W.L. 1977. Floristic affinities of Animas Mountains, southwestern New Mexico. 180 p.

<sup>49</sup> Brown, D.E. 1982. Madrean evergreen woodlands. pp. 59-65.

<sup>50</sup> Fishbein, M. *et al.* 1995. Another jewel in the crown: a report on the flora of the Sierra de los Ajos, Sonora, Mexico. pp. 126-124.

<sup>51</sup> Hubbard, J.P. 1977. A biological inventory of the Animas Mountains, Hidalgo County, New Mexico. 56 p.

<sup>52</sup> Garza-Salazar, F. 1993. Sistemas de áreas naturales protegidas del estado de Sonora (SANPES). 97 pp.

<sup>53</sup> Solís-Garza, G. *et al.* 1993. Riparian plant communities on the Rio los Ajos, Sonora, Mexico. pp. 13-22.

## Historia de Uso del Suelo

**Animas Mountains.** El historial del uso del suelo es importante para entender e interpretar los cambios en la composición del bosque y su influencia en el ciclo de nutrientes. La ocupación humana del suroeste de Nuevo México y del sureste de Arizona se ha registrado por más de 10,000 años (Martin, 1963)<sup>54</sup>. A principios del siglo XVII los Españoles iniciaron la colonización de esta región. Sus actividades principales se fundamentaron en la agricultura y ganadería y en menor escala la minería. La intensidad de pastoreo durante este periodo no es muy conocido aunque esta actividad se incrementó de manera explosiva a principios de 1890, con altibajos de 1900 a 1930 y posteriormente el pastoreo se ajustó acorde a la capacidad de carga del área (Wagner, *op. cit.*; Tonne *et al.*, 1992<sup>55</sup>). El efecto del pastoreo fue mayor en el área de pastizal que en la parte alta de la montaña con vegetación boscosa.

El fuego como componente natural de ecosistemas forestales ha sido particularmente afectado durante el presente siglo. A principios de 1900 el sobrepastoreo y el inicio del control de incendios en la parte suroeste de los Estados Unidos de América, aparentemente fueron los detonadores de cambios en vegetación, lo que involucró problemas de erosión, invasión de pastizales por especies arbustivas y sustitución de especies intolerantes a la sombra por especies más tolerantes (Archer and Smeins, 1991)<sup>56</sup>.

El régimen de incendios en AM se caracterizó por una mezcla de incendios superficiales frecuentes de baja intensidad (3 a 15 años) e incendios mas intensos a mayor intervalo (20 a 50 años). La frecuencia de incendios después de 1900 ha sido reportado por Baisan y Swetnam (*op. cit.*).

El uso actual del suelo en AM se caracteriza por pastoreo controlado en la parte baja de la montaña (pastizal) y completa exclusión de esta actividad en las comunidades boscosas de la parte media y alta de la montaña. El control de incendios es muy efectivo en todas las comunidades vegetales presentes y no existen aprovechamientos minerales.

**Sierra de los Ajos.** El historial de uso del suelo para la SLA es poco conocida. La región fue habitada por tribus Ópatas en la época Precolombina (Hasting and Turner, 1965<sup>57</sup>; West, 1993<sup>58</sup>). La colonización Española de esta región, se realizó un siglo

---

<sup>54</sup> Martin, P.S. 1963. The Last 10,000 Years. 87 p.

<sup>55</sup> Tonne, P. *et al.* 1992. The natural and historic role of fire on the Gray Ranch, Hidalgo County, New Mexico. 44 p.

<sup>56</sup> Archer, E. and F.E. Smeins. 1991. Ecosystem-level processes. pp. 109-139.

<sup>57</sup> Hastings, J.R and R.M. Turner. 1965. The Changing Mile. 317 p.

<sup>58</sup> West, R.C. 1993. Sonora its Geographical personality. 191 p.

después de que el área fuera explorada en búsqueda de yacimientos minerales. De 1614 a 1617, la orden religiosa de los Jesuitas inició su establecimiento en Sonora. Dentro de las actividades principales de esta orden religiosa se encontraba la ganadería, sin embargo el incremento en esta actividad y su consecuente impacto en la vegetación se debió al surgimiento de ranchos ganaderos a principios de 1700. Por ejemplo, en 1713, un rancho poseía 7,000 cabezas de ganado en el Valle Moctezuma, simultáneamente seis Españoles contaban cada uno con al menos 12,000 cabezas de ganado ubicadas entre los valles de Sonora y Moctezuma (Harness and Barber, 1964)<sup>59</sup>.

Durante el siglo XX las actividades de pastoreo en la SLA no se han documentado eficazmente. Varios permisos de pastoreo se expidieron en el periodo 1968-1984, aunque se desconoce la carga animal y el periodo de explotación. Actualmente la ganadería extensiva es la actividad dominante en esta montaña, especialmente en la comunidad de pastizal y área de transición de pastizal a encinal.

En el presente siglo, la ocurrencia de incendios en la SLA aparentemente no se ha reducido por actividades de control humano. La frecuencia de incendios para esta montaña varía entre 4 a 5 años (Dieterich, *op cit.*; Baisan and Swetnam, *op. cit.*, Swetnam and Baisan, *op cit.*).

## MATERIALES Y MÉTODOS

En cada montaña tres comunidades forestales fueron estudiadas: (1) Douglas-fir (DF), (2) pinos mixtos (PM) y (3) asociación pino piñonero-encino (PE). En el verano de 1992 y 1993 cuatro rodales representativos de cada comunidad en cada montaña fueron seleccionados para estudios detallados de suelo y vegetación (24 rodales en total) (Figuras Nos. 2 y 3).

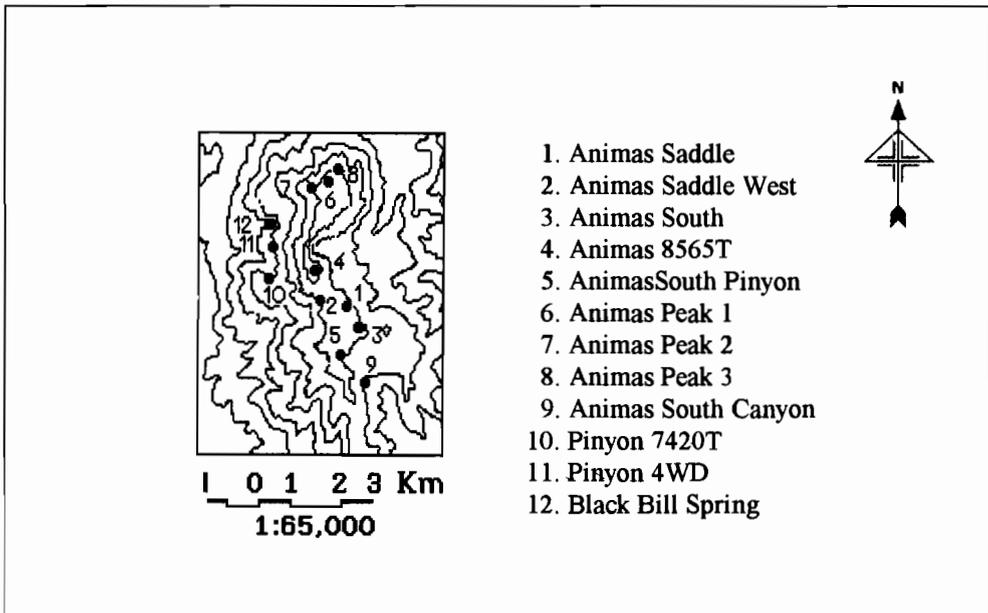
Una parcela permanente de 20 X 50 m (0.1 ha) se seleccionó por rodal y esta fue subdividida en 10 subparcelas de 10 X 10 m. Se abrió un perfil de suelo en cada parcela para medir directamente la profundidad de suelo. Muestras de roca fueron colectadas y procesadas en laboratorio para su clasificación mineralógica. Adicionalmente se colectaron muestras de suelo para determinación cuantitativa de arcillas minerales usando el método de difracción con rayos X (Whitting and Allardice, 1986)<sup>60</sup>. Visualmente se estimó el porcentaje de fracciones rocosas presentes en la

---

<sup>59</sup> Harness, V.L. and C.H. Barber. 1964. Cotton in Mexico. United States Department of Agriculture, Foreign Agriculture Service.

<sup>60</sup> Whitting, L.D. and W.R. Allardice. 1986. X-ray diffraction techniques. pp. 331-359.

superficie y dentro del perfil de suelo. Las fracciones rocosas consistieron de gravas(0.2 - 7.6 cm), guijarros (7.6 - 25.4 cm) y rocas (> 25.4 cm). En cada subparcela se colectó una muestra de suelo de los primeros 25 cm. Las muestras se tamizaron en un cedazo de 2 mm con el fin de remover las fracciones rocosas y materiales orgánicos. Aproximadamente un kilogramo de suelo tamizado se almacenó en bolsas plásticas para determinaciones morfológicas y químicas. En laboratorio, las muestras de suelo fueron secadas al aire y retamizadas para remover remanentes de material orgánico. El suelo fue analizado con respecto a densidad aparente (Blake and Hartge, 1986)<sup>61</sup>, textura (Gee and Bauder, 1986)<sup>62</sup> y color. Los componentes del color (matiz, valor y tonalidad) se obtuvieron usando un colorímetro modelo CR-200, las lecturas de este aparato se corrigieron usando ecuaciones de regresión como lo reporta Post *et al.* (1993)<sup>63</sup>.

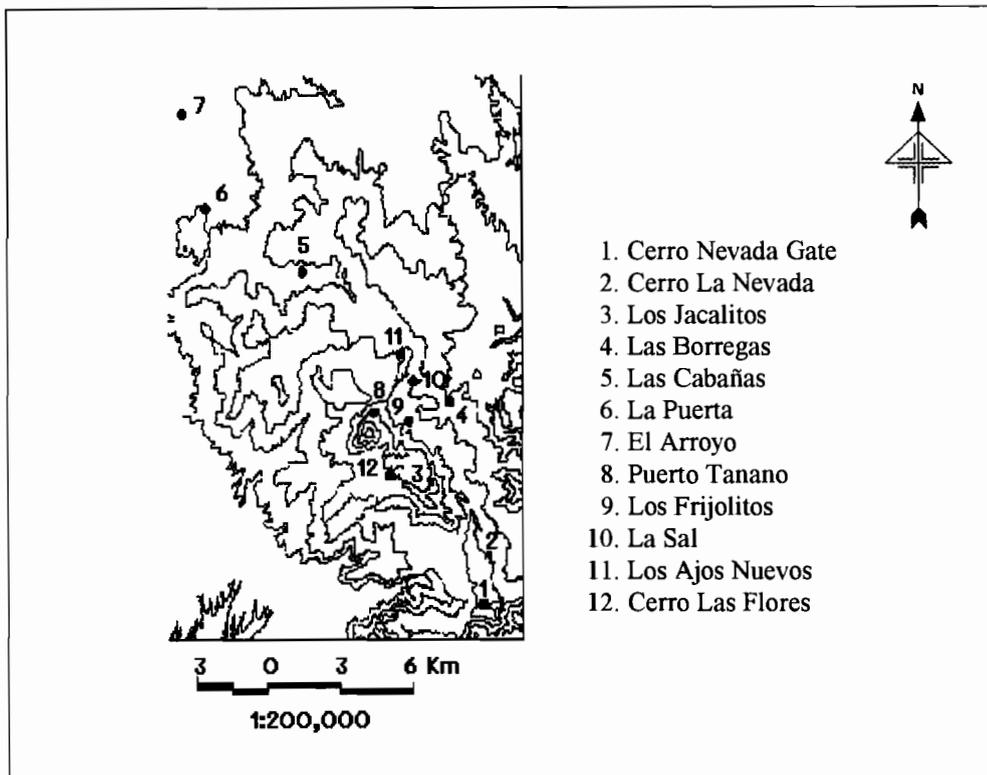


**Figura N°2.** Distribución geográfica de los sitios de muestreo en Animas Mountains, Nuevo Mexico. Los sitios 1, 2, 3 y 4 se ubicaron en una comunidad de pinabete/encino Gambel (DF); los sitios 6, 7, 8, y 9 se ubicaron en una comunidad de pinos mixtos (PM) y los sitios 5, 10, 11 y 12 se ubicaron en una comunidad de pino piñonero/encinal (PE).

<sup>61</sup> Blake, G.R. and K.H. Hartge. 1986. Particle density. pp. 377-382.

<sup>62</sup> Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle-size analysis. pp. 383-411.

<sup>63</sup> Post, D.F. *et al.* 1993. Correlations between field and laboratory measurements of soil color. pp. 35-49.



**Figura N°3.** Localización geográfica de los sitios muestreados en la Sierra de los Ajos, Sonora. Los sitios 8, 9, 11 y 12 se ubicaron en una comunidad de pinabete/encino Gambel (DF); los sitios 5, 6, 7 y 10 se ubicaron en una comunidad de pinos mixtos (PM) y los sitios 5, 6, 7 y 10 se ubicaron en una comunidad de pino piñonero/encinal (PE).

Los análisis químicos en la fracción < 2mm consistió de pH, conductividad eléctrica (CE), carbonatos totales, materia orgánica (MO), nitrógeno total, fósforo aprovechable, iones solubles ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^{+}$ ,  $\text{K}^{+}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y cationes intercambiables ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^{+}$ ,  $\text{K}^{+}$ ). El pH se determinó en una solución de 1:2 como lo describe McLean (*op. cit.*) La conductividad eléctrica (mmhos/cm) y iones solubles (me/l) se determinaron en el extracto de saturación como lo describe Rhoades, 1982 *op. cit.*. Los carbonatos totales (%) se analizaron usando el método volumétrico (Nelson, 1982)<sup>64</sup>. La materia orgánica (%) se determinó mediante

<sup>64</sup> Nelson, R.E. 1982. Carbonate and gypsum. pp. 181-197.

el método de Walkley-Black (Walkley, 1947)<sup>65</sup> y el nitrógeno total (%) usando el método Kjeldahl descrito por Bremner and Mulvaney (1982)<sup>66</sup>. La capacidad total de intercambio (me/100 g) se obtuvo según Polemio y Rhoades (1977)<sup>67</sup> y los cationes intercambiables (me/100 g) según Knudsen *et al.* (1982)<sup>68</sup>.

Un análisis de varianza fue utilizado para estudiar la relación entre variables independientes (montaña, elevación) y sus interacciones y variables dependientes (atributos morfológicos y químicos). La separación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey, considerando una probabilidad del 95 % ( $p < 0.05$ ). La asociación entre elevación y algunas variables edáficas (profundidad de suelo, densidad aparente, arcilla, materia orgánica, CEC, valor) se describió mediante correlaciones y regresiones simples.

## RESULTADOS

En AM el material madre dominante en las comunidades estudiadas fue roca volcánica riolita. En la SLA la roca volcánica riolita dominó en la mayoría de las comunidades pero en dos sitios de PM dominó esquistos y roca metamórfica y en un sitio con DF dominó roca sedimentaria (Cuadro N° 1).

En cada montaña el análisis mineralógico de arcillas minerales no indicó un patrón consistente de distribución a lo largo del gradiente altitudinal. Arcillas minerales típicas de partes altas de montañas como la caolinita se encontraron también en las partes bajas. Esmectita y vermiculita que con frecuencia dominan bajas elevaciones, se encontraron también en elevaciones altas. Cuarzo y feldespatos se localizaron en todo el rango de altitud y vermiculita y clorita se presentaron sólo a elevaciones superiores a 2,100 m. La composición mineralógica para comunidades similares entre montañas no difirió cualitativamente (Cuadro N° 2).

La profundidad de suelo, profundidad de mantillo orgánico, grava en la superficie, arena, limo, arcilla, valor, cromas, materia orgánica, nitrógeno total, pH, CIC;  $Mg^{2+}$  y  $Na^+$  intercambiables,  $K^+$ ,  $Na^+$  y  $SO_4^{2-}$  solubles fueron influenciados significativamente ( $p < 0.05$ ) por la interacción entre montaña y comunidad (Cuadro N° 3). No se encontró

---

<sup>65</sup> Walkley, A. 1947. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils. pp. 251-263.

<sup>66</sup> Bremner, J.M. and C.S. Mulvaney. 1982. Nitrogen total. pp. 595-622.

<sup>67</sup> Polemio, M. And J.D. Rhoades. 1977. Determining cation exchange capacity. pp. 524-528.

<sup>68</sup> Knudsen, D. *et al.* 1982. Lithium, sodium and potassium. pp. 225-246.

interacción significativa ( $p>0.05$ ) para las variables restantes. El efecto principal de montaña y comunidad en las características del suelo es indicado en el Cuadro N° 4.

Análisis de regresión simple indicaron una relación significativa ( $p<0.05$ ) entre elevación, MO y valor en Animas Mountain, y MO, densidad aparente, contenido de arcilla y CIC en la Sierra de los Ajos (Figura N° 4).

Montaña <sup>1</sup>	Sitio Muestreado	Comunidad <sup>2</sup>	Material Original
AM	Animas Saddle	DF	Roca volcánica grano fino
AM	Animas Saddle West	DF	Roca volcánica riolita
AM	Animas South	DF	Roca volcánica riolita
AM	Animas 8565TN	DF	Roca volcánica riolita
AM	Animas Peak1	PM	Roca sedimentaria grano fino
AM	Animas Peak2	PM	Roca volcánica riolita
AM	Animas Peak3	PM	Roca volcánica riolita
AM	Animas South Canyon	PM	Roca volcánica riolita
AM	Animas South Pinyon	PE	Roca volcánica riolita
AM	Pinyon 7420T	PE	Roca volcánica riolita
AM	Pinyon 4WD	PE	Roca volcánica riolita, diosita
AM	Black Bill Spring SE	PE	Riolita de grano grueso
SLA	Puerto Tanano	DF	Roca volcánica riolita
SLA	Los Frijolitos	DF	Roca volcánica riolita
SLA	Los Ajos Nuevos	DF	Roca volcánica riolita
SLA	Cerro las Flores	DF	Roca sedimentaria grano fino
SLA	Cerro la Nevada	PM	Roca metamórfica esquisto
SLA	Cerro Nevada Gate	PM	Roca metamórfica esquisto
SLA	Los Jacalitos	PM	Roca volcánica riolita
SLA	Las Borregas	PM	Roca volcánica riolita
SLA	Las Cabañas	PE	Roca volcánica riolita y cuarzo
SLA	La Puerta	PE	Roca volcánica riolita
SLA	El Arroyo	PE	Roca volcánica riolita
SLA	La Sal	PE	Roca volcánica riolita

<sup>1</sup>AM = Sierra Animas; SLA = Sierra los Ajos.

<sup>2</sup>DF = Douglas-fir/Encino Gambel ; MP = pinar mixto; PE = pino piñonero-encino.

**Cuadro N° 1.** Composición del material madre de los sitios muestreados en Animas Mountains, Nuevo Mexico y en la Sierra de los Ajos, Sonora.

Comunidad <sup>1</sup>	Animas Mountains	Sierra de los Ajos
<b>DF</b>	Caolinita, mica, esmectita, cuarzo, Dolomita, vermiculita (traza), Clorita (traza).	Vermiculita, mica, caolinita, gibsita, calcita (indicios), geotita (traza)
<b>PM</b>	Esmectita, mica, caolinita, hematita.	mica, caolinita, cuarzo, esmectita (traza), hematita, geotita (traza)
<b>PE</b>	Mica, caolinita, cuarzo, esmectita, calcita, vermiculita (traza).	Mica, esmectita, caolinita, vermiculita (traza), geotita (traza)

<sup>1</sup>DF= Douglas-fir o pinabete/encino Gambel ; PM= pinar mixto ; PE= pino piñonero-encinar

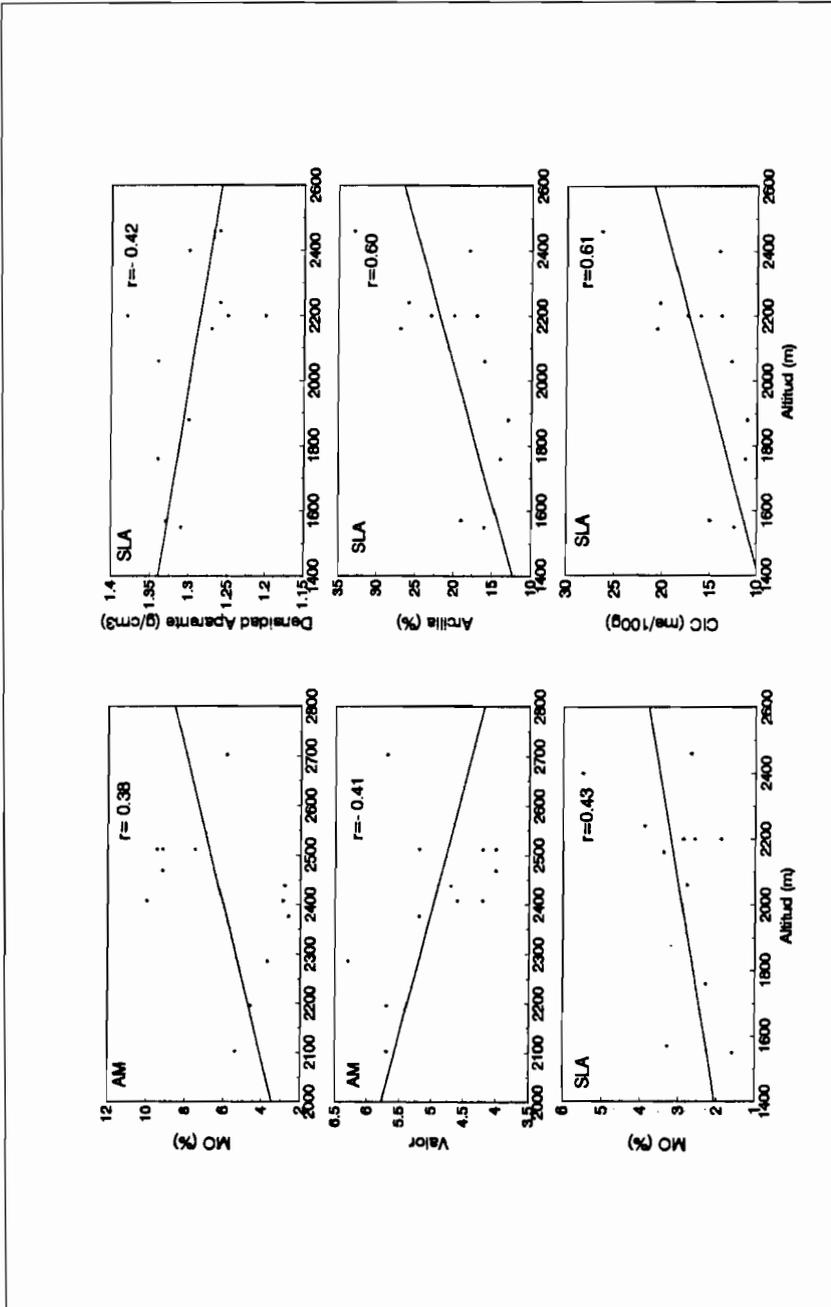
**Cuadro N° 2.** Composición cualitativa de arcillas minerales de las comunidades forestales de Animas Mountains, Nuevo Mexico y Sierra de los Ajos, Sonora.

Variable	Animas Mountains <sup>1</sup>			Sierra de los Ajos		
	DF <sup>2</sup>	PM	PE	DF	PM	PE
Profundidad de suelo	92.5aA	71.0bB	52.5cB	73.8aB	77.5*A	58.8bA
Mantillo orgánico (cm)	1.5aA	1.5aA	0.3bA	0.4aB	0.5Ab	0.3bA
Grava en la superficie (%)	27.2bA	46.0aA	53.6aA	33.5bA	46.3*A	36.0bB
Arena (%)	62.0aA	56.0bA	56.0bB	57.0bB	48.0cA	65.0aA
Limo (%)	17.0bB	25.0aA	24.0aA	25.0aA	27.0aA	18.0bB
Arcilla (%)	19.2abB	20.4aA	18.5bB	25.6aA	17.5bB	17.3bA
Valor (seco)	4.6bB	4.9abB	5.3aB	6.0bA	5.8bA	6.6aA
Tonalidad (seco)	1.7bB	1.7bB	2.0aA	3.0bA	2.8bA	2.3aA
Materia orgánica (%)	6.5abA	7.5aA	4.4bA	3.3aA	3.1abB	2.5bB
Nitrógeno total (%)	0.3bA	0.4aA	0.3abA	0.16aB	0.15*B	0.12bB
PH	6.6aA	6.5abA	6.4bA	6.5aA	5.7bB	6.2aB
CIC (me/100 g)	19.3aA	19.0abA	17.8bA	20.0aA	14.1bB	13.6bB
Mg <sup>2+</sup> (me/100 g)	6.4abA	9.8aA	4.0bA	2.5bB	3.0abB	3.1aB
Na <sup>+</sup> (me/100 g)	2.3aA	1.9bA	1.6bA	0.9aB	0.8abB	0.75bB
K <sup>+</sup> (me/l)	1.7aA	1.2bA	1.0bA	0.6bB	0.8aB	0.77abB
Na <sup>+</sup> (me/l)	1.8aA	1.3bA	1.2bA	0.8bB	1.0aB	0.8abB
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (me/l)	0.5bB	1.4aA	1.5aA	1.6aA	1.0bB	0.9bB

<sup>1</sup>Dentro de una montaña, valores medios seguidos por letras minúsculas no difieren significativamente ( $p > 0.05$ ) entre comunidades; dentro de una comunidad, valores medios seguidos por letra mayúscula no difieren entre montañas ( $p > 0.05$ ).

<sup>2</sup>DF = Douglas-fir/encino Gambel ; PM = pinar mixtos ; PE = piñonero-encino.

**Cuadro N° 3.** Efecto de la montaña y comunidad en las características de suelo en Animas Mountains, Nuevo Mexico y Sierra los Ajos, Sonora. Todas las variables indicadas estuvieron significativamente afectadas por la interacción Montaña X Comunidad.



**Figura N° 4.** Relación entre altitud y algunas variables edáficas en Animas Mountains, NM (AM) y Sierra de los Ajos, Sonora, (SLA). Cada punto gráfico incluye el promedio de 10 valores. Todas las correlaciones son significativas ( $p < 0.05$ ).

## DISCUSIÓN

La composición y similitud del material madre en estas montañas, soporta la interpretación de su origen volcánico (Maker *et al.*, 1970<sup>69</sup>; Soil Conservation Service, *op. cit.*; Aponte, *op. cit.*). Esto sugiere que la diferencia entre montañas con respecto a disponibilidad de nutrientes puede ser debida no a variaciones en el material original sino a otros factores climáticos que afectan las reacciones de intemperización y mineralización de la roca y reacciones químicas del suelo. El material original en todas las comunidades de AM y de la SLA estuvo dominada por roca volcánica riolita, que se caracteriza por originar suelos con baja fertilidad (Welch, *op. cit.*).

El desarrollo de suelos en las montañas del suroeste de los Estados Unidos de América y su influencia en otras características edáficas y composición vegetal frecuentemente se ha asociado a gradientes ecológicos (Herradine and Jenny, 1958<sup>70</sup>; Whittaker *et al.*, *op. cit.*) y a disturbios tales como el fuego (Barton, 1993)<sup>71</sup>. Para una montaña específica, las condiciones microclimáticas tales como exposición, pueden ejercer una acción preponderante en el desarrollo del suelo y composición vegetal. Por ejemplo, en las montañas estudiadas la comunidad de pino-encino típica de la zona de transición entre el pastizal y el bosque de pinar mixto, se encontró también en sitios más elevados pero ubicado en exposiciones sur y sureste. Aun y cuando la precipitación es más alta en esas elevaciones, la energía solar recibida es mayor favoreciendo incrementos en temperatura y mayores tasas de evaporación. Dichos factores limitan el establecimiento de comunidades forestales típicas de tales elevaciones como Douglas-fir y favorecen el establecimiento de otras comunidades con menor demanda hídrica tales como el piñonar.

Antecedentes de investigación indican que la composición mineralógica de arcilla depende del material madre y del clima prevaleciente (Birkeland, *op. cit.*). Una correlación directa entre la presencia de caolinita y halosita con un incremento en la precipitación y disminución en temperatura a lo largo de un gradiente altitudinal ha sido reportado por Hanawalt and Whittaker (*op. cit.*) para las montañas del sur de Arizona y California. Los minerales esmectíticos tales como la montmorillonita se han encontrado principalmente en sitios que reciben baja precipitación. Un patrón similar para un gradiente altitudinal en las montañas Santa Catalina del sur de Arizona ha

---

<sup>69</sup> Maker, H.J. *et al.* 1970. Soil association and land classification for irrigation Hidalgo County. 29 p.

<sup>70</sup> Harradine, F. And H. Jenny. 1958. Influence of parent material and climate on texture and nitrogen and carbon contents. pp. 235-243.

<sup>71</sup> Barton, A.M. 1993. Factors controlling plant distribution. pp. 367-397.

sido reportado por Al-Mazrouei (1995)<sup>72</sup>. De manera similar, el contenido de esmectita y mica decrecieron significativamente con cambios en elevación. Tales resultados aparentemente no son raros para suelos de las regiones áridas, donde las esmectitas se mineralizan a caolinita conforme la sílica necesaria para la preservación de las esmectitas es lixiviada (Ismail, 1970)<sup>73</sup>, o bien la caolinita puede ser trasladada a esos sitios debido a la deposición eólica o bien reflejar climas más húmedos (Hendricks, 1991)<sup>74</sup>.

El contenido de fragmentos rocosos fue mayor en comunidades de baja elevación como PE y PM que en DF. Aparentemente los procesos de mineralización redujeron la cantidad de fragmentos rocosos a mayores elevaciones en estas montañas. El valor que es un componente del color disminuyó conforme se incrementó en elevación en Animas Mountains, aunque no difirió entre comunidades de DF y PM en la Sierra de los Ajos. El valor se ha usado con frecuencia para estimar el contenido de MO y como un índice de nitrógeno total y mineralizable (Qian *et al.*, *op. cit.*). Diversos usos del suelo pueden haber enmascarado esta relación entre valor y contenido de MO en la Sierra de los Ajos.

Incrementos en precipitación con decrementos en temperatura en gradientes altitudinales, generalmente contribuye a incrementar la producción primaria neta, afectando en consecuencia el contenido de MO, nitrógeno total, contenido de arcilla, profundidad de suelo y otras variables edáficas (Herradine and Jenny, *op. cit.*; Whittaker *et al.*, *op. cit.*; Barton, *op. cit.*). Interacciones significativas entre comunidades y montañas producidas por ciertas condiciones microclimáticas y diferencias en el uso del suelo, aparentemente confundieron dicha tendencia.

El contenido de mantillo orgánico en comunidades de PM y DF en Animas Mountains fue mayor que para las mismas comunidades en la Sierra de los Ajos. Este resultado pudo deberse a la alta frecuencia de incendios (los incendios generalmente provocan una reducción en la materia orgánica por consumo directo como fuente de ignición) en SLA comparada con la baja frecuencia en AM. La profundidad de mantillo orgánico no difirió significativamente entre montañas para comunidades de PE. Esta falta de diferencia, quizás sea el resultado de la escasa productividad de estos sitios y al sobrepastoreo al cual han estado sujetos, así removiendo la vegetación herbácea, importante para la formación del mantillo orgánico.

---

<sup>72</sup> Al-Mazrouei, M.K. 1995. Soil clay mineral composition along an altitudinal transect in the Santa Catalina Mountains of Arizona.

<sup>73</sup> Ismail, F.T. 1970. Biotite weathering and clay formation in the arid and humid regions, California. pp. 257-261.

<sup>74</sup> Hendricks, D.M. 1991. Genesis and classification of arid region soils. pp. 38-79.

El contenido de MO y nitrógeno total fueron superiores en todas las comunidades de AM comparada con la de SLA. Este resultado pudo deberse a diferencias en el régimen de incendios, explotación maderable y pastoreo. Incendios muy frecuentes aunado a una periódica remoción de árboles en la SLA, pudo haber originado una reducción en el contenido de MO y nitrógeno total a relativamente bajos niveles. Dependiendo del contenido de humedad del mantillo orgánico y del suelo, un incendio puede volatilizar aproximadamente 65% de la MO y casi 70% del nitrógeno total (DeBano *et al.*, *op. cit.*; Covington and Sackett, *op. cit.*). Este efecto puede ser favorecido por un incremento en la actividad microbiana después del incendio, lo cual generalmente produce mayores tasas de mineralización (Klemmedson, 1975<sup>75</sup>; Covington and Sackett, 1984, 1992<sup>76</sup>). La cantidad de nitrógeno total removido por la explotación maderable depende en gran medida de la fertilidad del suelo, proporción de vegetación removida y tratamiento de los desechos orgánicos. En promedio 1% de nitrógeno total puede ser removido comúnmente en una explotación maderable (Little and Klock, 1985)<sup>77</sup>. lo cual quizás no represente una pérdida significativa de nitrógeno durante el periodo en que se llevó a cabo esta actividad en la SLA. Contrariamente, la erosión producida por la apertura de caminos para extracción de madera, quizás fue causa importante de pérdida de materia orgánica y por ende de nitrógeno total.

En este estudio, la concentración de iones intercambiables y solubles en general fue mayor en las AM que en la SLA. Tal resultado probablemente fue provocado por diferencias en la frecuencia de incendios, que fue mayor para la SLA que para las AM. Aunque la explotación maderable quizás no haya afectado significativamente la pérdida de nutrientes en la SLA, sus efectos indirectos (erosión hídrica) evidentemente contribuyeron a los resultados observados.

En resumen, las diferencias observadas en el uso del suelo para las dos montañas estudiadas, aparentemente afectaron muchas características edáficas del suelo. Las diferencias en profundidad de mantillo orgánico, materia orgánica, nitrógeno total, color, pH, CIC, cationes intercambiables ( $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ ), fosfato y iones solubles ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $CO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ ), pueden explicarse en términos de diferencial en frecuencia de incendios, explotación maderable y pastoreo. Algunos de los efectos esperados debido a los incendios más frecuentes en la SLA, aparentemente no fueron detectados debido a los problemas fuertes de erosión producidos por el sobrepastoreo, explotación maderable y minería.

---

<sup>75</sup> Klemmedson, J.O. 1975. Nitrogen and carbon regimes in an ecosystem of young ponderosa pine in Arizona. pp. 163-168.

<sup>76</sup> Covington, W.W. and S.S. Sackett. 1992. Soil mineral nitrogen changes following prescribed burning in ponderosa pine. pp. 175-191.

<sup>77</sup> Little, S.N. and G.O. Klock. 1985. The influence of residue removal and prescribed fire on distribution of forest nutrients. 12 p.

Dentro de una montaña, la cantidad de precipitación influenciada por un gradiente elevacional explicó muchos pero no todos los patrones físico-químico de suelos observados en otras montañas. Similarmente a las variaciones entre montañas, diferencias en el uso del suelo parecieran explicar algunos de estos patrones. Un conocimiento más detallado del historial de uso del suelo de estas montañas aunado a una mayor información bibliográfica en este respecto, indudablemente fortalecerá nuestra capacidad para interpretar con mayor objetividad los patrones observados en este estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alexander, E. B.; J. I. Mallory, and W. L. Colwell. 1993. Soil elevation relationships on a volcanic Plateau in the southern Cascade range, northern California, USA. *Catena*. 20:113-128.
- Allen, L. S. 1995. Fire Management in the sky islands. pp.19-23. *In*: DeBano, L. F.; P. F. Ffolliott; A. Ortega-Rubio; G. J. Gottfried; H. R. Hamre, and C. B. Edminster (technical coordinators) Proceedings of the Symposium on Biodiversity and Management of the Madrean Archipelago: The Sky Islands of the Southwestern United States and Northern Mexico. USDA, Forest Service, General Technical Report RM-GTR-264, Fort Collins, Colorado.
- Al-Mazrouei, M. K. 1995. Soil clay mineral composition along an altitudinal transect in the Santa Catalina Mountains of Arizona. M.S. Thesis. University of Arizona, Tucson. 75 p.
- Aponte, M. B. 1974. Estratigrafía del Paleozoico (Cámbrico-Pensilvánico) del centro de Sonora. Tesis profesional I.P.N., Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Sonora, México.
- Archer, E. and F. E. Smeins. 1991. Ecosystem-level processes. pp. 109-139. *In*: Heitschmidt, R. K. and J. W. Stuth (eds.). Grazing management an ecological perspective. Timber Press, Portland, Oregon.
- Baisan, C. H. and T. W. Swetnam. 1995. Historical fire occurrence in remote mountains of southwestern New Mexico and northern Mexico. pp.153-156. *In*: Brown, J. K.; R. W. Mutch; C. W. Spoon, and R. H. Wakimoto (technical coordinators). Proceedings of the Symposium on Fire in Wilderness and Park

Management. USDA, Forest Service, General Technical Report INT-GTR-320. Ogden, Utah.

- Barnhisel, R. I. 1977. Chlorites and hydroxy interlayered vermiculite and smectite. pp. 331-356. **In:** Dixon, J. B.; S. B. Weed; J. A. Kittrick; M. H. Milford, and J. L. White (editors). Mineral in soil environments. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
- Barton, A.M. 1993. Factors controlling plant distributions: drought, competition, and fire in montane pines in Arizona. *Ecological Monographs*. 63:367-397.
- Barton, A. M. 1994. Gradient analysis of relationships among fire, environment, and vegetation in a southwestern USA mountain range. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*. 121:251-265.
- Birkeland, P.W. 1974. Pedology, weathering, and geomorphological research. Oxford University Press, New York. 285 p.
- Blake, G. R. and K. H. Hartge. 1986. Particle density. pp. 377-382. **In:** Klute, A. (editor). *Methods of Soil Analysis, Part 1. Monograph 9*. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.
- Bohn, H. L.; B. L. McNeal, and G. A O'Connor. 1985. Soil chemistry. Second edition. John Wiley & Sons, New York. 341 p.
- Boyles, R. L. and S. J. Tajchman. 1984. Stoniness and rockiness of a forested Apalachian catchment. *Forest ecology and Management*. 7:311-322.
- Borchardt, G. A. 1977. Montmorillonite and other smectite minerals. pp. 293-330. **In:** Dixon, J. B.; S. B. Weed; J. A. Kittrick; M. H. Milford, and J. L. White (editors). Mineral in soil environments. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
- Bremner, J. M. and C. S. Mulvaney. 1982. Nitrogen-Total. pp. 595-622. **In:** Page, A. L.; R. H. Miller, and D. R. Keeney (editors). *Methods of soil analysis, Part 2. Monograph 9*. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.
- Brown, D. E. 1982. Madrean Evergreen Woodland. *Desert Plants*. 4:59-65.
- Chandler, C.; P. Cheney; P. Thomas; L. Trabaud, and D. Williams. 1983. Fire in forestry. Volume I. Forest fire behavior and effects. John Wiley & Sons, New York.

- Childs, S. W. and A. L. Flint. 1990. Physical properties of forest soils containing rock fragments. pp. 95-121. *In*: Gessel, S. P.; D. S. Lacate; G. F. Weetman, and R. F. Powers (editors). Sustained productivity of forest soils. Seven North American forest soils conference, University of British Columbia, Vancouver, Canada.
- Christensen, N. L. and C. H. Muller. 1975. Effects of fire on factors controlling plant growth in *Adenostoma* chaparral. *Ecological Monographs*. 45:29-55.
- Cooper, C. F. 1960. Changes in vegetation, structure and growth of ponderosa pine forests since white settlement. *Ecological Monographs*. 30:129-164.
- Covington, W. W. and S. S. Sackett. 1984. The effect of a prescribed burn in southwestern ponderosa pine on organic matter and nutrients in woody debris and forest floor. *Forest Science*. 30:183-192.
- Covington, W. W. and S. S. Sackett. 1992. Soil mineral nitrogen changes following prescribed burning in ponderosa pine. *Forest Ecology and Management*. 54:175-191.
- Covington, W. W. and M. M. Moore. 1994. Southwestern ponderosa forest structure: changes since Euro-American settlement. *Journal of Forestry*. 92:39-47.
- DeBano, L. F. and C. E. Conrad. 1978. The effect of fire on nutrients in a chaparral ecosystem. *Ecology*. 59:489-497.
- DeBano, L. F.; G. E. Eberlein, and P. H. Dunn. 1979. Effects of burning in chaparral soils: I. Soil nitrogen. *Soil Science Society of American Journal*. 43:504-514.
- Dieterich, J. H. 1983. Historia de los incendios forestales en la Sierra de los Ajos, Sonora. Centro de Investigaciones Forestales del Norte. Nota Técnica N° 6 PR-04. México, D.F.
- Dieterich, J. H. and T. W. Swetnam. 1984. Dendrochronology of a fire-scarred ponderosa pine. *Forest Science*. 30:238-247.
- Dodge, M. 1972. Forest fuel accumulation: a growing problem. *Science*. 177:139-141.
- Fernández, R. N.; D. G. Schulze; D. L. Coffin, and G. E. Van Scoyoc. 1988. Color, organic matter, and pesticide adsorption relationships in a soil landscape. *Soil Science Society of American Journal*. 52:1023-1026.

- Fishbein, M.; R. Felger, and F. Garza. 1995. Another Jewel in the Crown: Report on the Flora of the Sierra de los Ajos, sonora, Mexico. pp. 126-124. *In*: DeBano, L. F.; P.F. Ffolliott; A. Ortega-Rubio; G. J. Gottfried; H. R. Hamre, and C. B. Edminster (technical coordinators). Proceedings of the Symposium on Biodiversity and Management of the Madrean Archipelago: The Sky Islands of the Southwestern United States and Northern Mexico. USDA, Forest Service, General Technical Report RM-GTR-264, Fort Collins, Colorado.
- Fulé, P. Z. and W. W. Covington. 1995. Changes in fire regimes and forest structures of unharvested petrean and Madrean pine forests. pp. 408-415. *In*: DeBano, L. F.; P. F. Ffolliott; A. Ortega-Rubio; G. J. Gottfried; H. R. Hamre, and C. B. Edminster (technical coordinators). Proceedings of the Symposium on Biodiversity and Management of the Madrean Archipelago: The Sky Islands of the Southwestern United States and Northern Mexico. USDA, Forest Service, General Technical Report RM-GTR-264, Fort Collins, Colorado.
- Garza Salazar, F. 1993. Sistema de áreas naturales protegidas del Estado de Sonora (SANPES). Gobierno del estado de Sonora, Secretaría de Infraestructura Urbana y Ecología, Centro Ecológico de Sonora. Sonora, México. 97 p.
- Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle-size analysis. pp. 383-411. *In*: Klute, A. (editor). Methods of soil analysis, Part 1. Monograph 9. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Hanawalt, R. B. and R. H. Whittaker. 1977. Altitudinal patterns of Na, K, Ca, and Mg in soils and plants in the San Jacinto Mountains, California. *Soil Science*
- Harness, V. L. and C. H. Barber. 1964. Cotton in Mexico. United States Department of Agriculture, Foreign Agriculture Service, FAS-M 163, Washington, D.C.
- Harradine, F. and H. Jenny. 1958. Influence of parent material and climate on texture on texture and nitrogen and carbon contents of virgin California soils. I. Texture and nitrogen contents of soils. *Soil Science*. 85:235-243.
- Hastings, J. R., and R. M. Turner. 1965. The changing mile. University of Arizona Press, Tucson. 317 p.
- Hendricks, D. M. 1991. Genesis and classification of arid region soils. pp. 38-79. *In*: Skujins, J. (editor). *Semiarid Lands and Desert: Soil Resource and Reclamation*. Marcel Dekker. New York.

- Hubbard, J. P. 1977. A biological inventory of the Animas Mountains, Hidalgo County, New Mexico. New Mexico Department of Game and Fish Endangered Species Program. 56 p.
- Ismail, F. T. 1970. Biotite weathering and clay formation in the arid and humid regions, California. *Soil Science*. 109:257-261.
- Jenny, H. 1941. Factors of soil formation. McGraw-Hill Book Company, New York. 281 p.
- Jury, W. A.; W. R. Gardner, and W. H. Gardner. 1991. Soil Physics. Fifth edition. John Wiley & Sons. 328 p.
- Klemmedson, J. O. 1975. Nitrogen and carbon regimes in an ecosystem of young dense ponderosa pine in Arizona. *Forest Science* 21:163-168.
- Knudsen, D.; G. A. Peterson, and P. F. Pratt. 1982. Lithium, sodium and potassium. pp. 225-246. *In*: Page, A. L.; R. H. Miller, and D. R. Keeney (editors). *Methods of soil analysis, Part 2. Monograph 9. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin*.
- Little, S. N. and G. O. Klock. 1985. The influence of residue removal and prescribed fire on distributions of forest nutrients. USDA, Forest Service, Research Paper PNW-338. Portland, Oregon. 12 p.
- Maker, H. J.; D. N. Cox, and J. U. Anderson. 1970. Soil association and land classification for irrigation Hidalgo County. Agricultural Experiment Station Research Report 177. New Mexico State University, Las Cruces. 29 p.
- Martin, P. S. 1963. The last 10,000 years. University of Arizona Press, Tucson. 87 p.
- McLean, E. O. 1982. Soil pH and lime requirements. pp.199-209. *In*: Page, A. L., R.H. Miller, and D. R. Keeney (editors). *Methods of soil analysis, Part 2. Monograph 9. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin*.
- Minnich, R. A. and C. J. Bahre. 1995. Wildland fire and chaparral succession along the California-Baja California boundary. *International Journal of Wildland Fire* 5:13-24.
- Nelson, R. E. 1982. Carbonate and gypsum. pp. 181-197. *In*: Page, A. L.; R. H. Miller; and D. R. Keeney (editors). *Methods of soil analysis, Part 2. Monograph 9. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin*.

- Peet, R. K. 1981. Forest vegetation of the Colorado Front Range: composition and dynamics. *Vegetatio* 45:3-75.
- Polemio, M. and J. D. Rhoades. 1977. Determining cation exchange capacity: new procedure for calcareous and gypsiferous soils. *Soil Science Society of American Journal*. 41:524-528.
- Post, D. F.; R. B. Bryant, A. K. Batchily, and A. R. Huete. 1993. Correlations between field and laboratory measurements of soil color. pp. 35-49. *In*: Bigham, J. M. and E. J. Ciolkosz (editors) *Soil color*. SSSA Special Publication No. 31. Soil Science of America, Madison, Wisconsin.
- Pritchett, L. W. 1979. Properties and management of forest soils. John Wiley & Sons, New York. 500 p.
- Qian, H.; K. Klinka, and L. M. Lavkulich. 1993. Relationship between color value and nitrogen in forest mineral soils. *Canadian Journal of Soil Science*. 73:61-72.
- Raison, R. J.; P. K. Khanna, and P. V. Woods. 1985. Mechanisms of element transfer to the atmosphere during vegetation fires. *Canadian Journal of Forest Research*. 15:132-140.
- Rayn, M. G. and W. W. Covington. 1986. Effect of prescribed burn in ponderosa pine on inorganic nitrogen concentrations of mineral soils. USDA, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Research Note RM-464. 5 p.
- Reheis, M. C. 1990. Influence of climate and eolian dust on the major-element chemistry and clay mineralogy of soils in the northern Bighorn Basin, USA. *Catena*. 17:219-248.
- Rhoades, J. D. 1982. Soluble salts. pp. 167-179. *In*: Page, A. L.; R. H. Miller, and D. R. Keeney (editors). *Methods of soil analysis, Part 2*. Monograph 9. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Schulze, D. G.; J. L. Nagel; G. E. Scoyoc; T. L. Henderson, and M. F. Baumgardner. 1993. Significance of organic matter in determining soil colors. pp. 71-89. *In*: Bigham, J. M. and E. J. Ciolkosz (editors). *Soil color*. SSSA Special publication No. 31. Soil Science of America, Madison, Wisconsin.
- Soil Conservation Service. 1973. Soil survey of Hidalgo County, New Mexico. United States Government Printing Office, Washington, D.C. 754 p.

- Soil Survey Staff. 1975. Soil taxonomy. Handbook 436, USDA, Soil Conservation Service, Washington, D.C. 754 p.
- Solís-Garza, G.; W. Brady, and A. Medina. 1993. Riparian plant communities on the Rio los Ajos, Sonora, México. *Ecología*. 3:13-22.
- Swetnam, T. W. and C. Baisan. 1996a. Fire histories of montane forests in the Madrean Borderlands. pp. 15-36. *In*: Ffolliott, P. F.; L. F. DeBano; M. B. Baker Jr.; G. J. Gottfried; G. Solis-Garza; C. B. Edminster; D. G. Neray; L. S. Allen, and R. H. Hamre (technical coordinators). Proceedings of the Effects of Fire on Madrean Province Ecosystems Symposium, Tucson, Arizona. USDA, Forest Service, General Technical Report RM-GTR-289. Fort Collins, Colorado.
- Swetnam, T. W. and C. Baisan. 1996b. In press. Historical fire regime patterns in the southwestern United States since AD 1700. *In*: Allen, C. D. (editor). Proceedings of the 2<sup>nd</sup>. La Mesa Fire Symposium, Los Alamos, New Mexico. USDA, Forest Service, General Technical Report RM-GTR-xxx. Fort Collins, Colorado.
- Tonne, P.; A. Cato, and G. Babb. 1992. The natural and historic role of fire on the Gray Ranch, Hidalgo County, New Mexico. Unpublished report on file with The Nature Conservancy. 44 p.
- Villanueva-Díaz, J. And G.R. McPherson. 1995. Forest structure in mountains of Sonora, Mexico and New Mexico, USA. pp. 416-423. *In*: DeBano, L. F.; P. F. Ffolliott; A. Ortega-Rubio; G. J. Gottfried; H. R. Hamre, and C. B. Edminster (technical coordinators). Proceedings of the Symposium on Biodiversity and Management of the Madrean Archipelago: The Sky Islands of the Southwestern United States and Northern Mexico. USDA, Forest Service, General Technical Report RM-GTR-264. Fort Collins, Colorado.
- Wagner, W. L. 1977. Floristic affinities of Animas Mountains, southwestern New Mexico. M.S. Thesis, University of New Mexico, Albuquerque. 180 p.
- Walkley, A. 1947. A critical examination of a srapid method for determining organic carbon in soils: effect of variation in digestion conditions and of inorganic soils constituents. *Soil Science*. 63:251-263.
- Weaver, H. 1951. Fire as an ecological factor in the southwestern ponderosa pine forests. *Journal of Forestry*. 49:93-98.

- Welch, T. G. 1973. Distribution of nitrogen and carbon in ponderosa pine ecosystems as function of parent material. Ph.D. Dissertation. University of Arizona, Tucson. 120 p.
- Wells, C. G.; R. E. Campbell; L. F. DeBano; C. E. Lewis; R. L. Fredriksen; E. C. Franklin; R. C. Froelich, and P. H. Dunn. 1979. Effetes of fire on soil: a state-of-knowledge review. USDA, Forest Service, General Technical Report WO-7. Washington, D.C. 34 p.
- West, R. C. 1993. Sonora: Its goographical personality. University of Texas Press. Austin. 191 p.
- Whittaker, R. H.; S. W. Boul; W. A. Niering, and Y. H. Havens. 1968. Soil and vegetation patterns in the Santa Catalina Mountains, Arizona. *Soil Science*. 105:440-450.
- Whitting , L. D. and W. R. Allardice. 1986. X-ray diffraction techniques. pp. 331-359. *In*: Klute, A. (editor). *Methods od soil analysis, Part I*. Monograph 9. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Wienhold, B. J. and J. O. Klemmedson. 1992. Effect of prescribed fire on nitrogen and phosphorous in Arizona chaparral soil-plant systems. *Arid Soil Research and Rehabilitation*. 6: 285-296.

# CONTENIDO DE METALES PESADOS EN ALGUNOS SUELOS Y VEGETACIÓN DEL DESIERTO DE LOS LEONES, DISTRITO FEDERAL.

Castro Servín Juana Ma.<sup>1</sup>  
González Kladiano Verónica<sup>1</sup>  
Hernández Tejeda Tomás<sup>2</sup>

## RESUMEN

El Parque Cultural y Recreativo Desierto de los Leones, D.F. (PCyRDL-D.F.), tiene gran importancia en el bienestar de los habitantes de la ciudad de México. en este lugar se han realizado diversas investigaciones a raíz de la muerte del bosque de *Abies religiosa*. Estas se basan principalmente en el impacto que en diferentes aspectos ejerce el área metropolitana en el PCyRDL-D.F. (Alvarado *et al.*, 1991; Castro *et al.*, 1993; López y Rivera, 1995; Castañeda *et al.*, 1995). De acuerdo a esta información, se llevó a cabo un estudio con el fin de determinar el contenido de algunos metales pesados tóxicos y de diversas propiedades químicas del suelo, así como conocer el contenido de los mismos en la vegetación aledaña a los sitios de muestreo de los suelos. El presente trabajo tiene como antecedente, los muestreos realizados por los autores en siete sitios del PCyRDL-D.F. (Castro *et al.*, *op. cit.*). Para el presente estudio solo se consideraron cuatro sitios en el PCyRDL-D.F. y un sitio como testigo en San Juan Tetla, estado de Pue. El muestreo de suelos se hizo a dos profundidades y en forma paralela se tomaron muestras de vegetación dominante. Las muestras de suelo y vegetación fueron procesadas en el Laboratorio de Química del Ambiente del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID-COMEF, INIFAP) y se analizaron con un equipo de absorción atómica.

Los resultados indican, que las concentraciones más altas de los metales pesados analizados en los suelos y la vegetación fueron detectados en los sitios localizados en el PCyRDL-D.F. y las más bajas en San Juan Tetla.

**Palabras clave:** Contaminación de suelos y plantas, metales pesados, suelos forestales, Desierto de los Leones, Distrito Federal.

---

<sup>1</sup> Investigador Titular del CENID-COMEF, INIFAP, SAGAR.

<sup>2</sup> Investigador Titular, Becario del CENID-COMEF, INIFAP, SAGAR.

## ABSTRACT

Cultural and Recreation Park Desierto de los Leones, Distrito Federal (PCyRDL-D.F.), has a great importance in the wellbeing of inhabitants of México City, this place has been the scenario for different type of research steaming from the death of *Abies religiosa* forest. These researches are based mainly on the different impacts that metropolitan area does to the PCyRDL-D.F. (Alvarado *et al.*, 1991; Castro *et al.*, 1993; López y Rivera, 1995; Castañeda *et al.*, 1995). According to this information, it was conducted a studio with the purpose of determining the content of some toxic heavy metals and some soil diverse chemical properties, as well as the content of the same metals over the surrounding vegetation to the soil sample sites. Present work has as a back ground sampling on soil conducted by next aurtors (Castro *et al.*, *op. cit.*). It was considered only here four sites in the PCyRDL-D.F. and one witness site coresponding to the place called San Juan Tetla, state of Puebla too. Soil sampling was made with two depth and it was taken parallel dominant vegetation samples. Soil and vegetation samples were processed in the Enviromental Chemical Laboratory from the Discipline National Reserch Center for Conservation and Improvement of Forest Ecosystems (CENID-COMEF, INIFAP) and they were analysed with an atomic absorpition equipment.

Results point out that higher concentrations of heavy metals analysed on the soil and vegetation were detected in sites localized in PCyRDL-D.F. and lower concentration in sampling coming from San Juan Tetla.

Key words: Soil pollution and plants, heavy metals, forest soil, Desierto de los Leones, Distrito Federal.

## INTRODUCCIÓN

Investigaciones científicas sobre el deterioro de áreas forestales aledañas a grandes ciudades, demuestran la declinación de algunas especies susceptibles a la contaminación ambiental. Se han buscado las causas de la muerte de los bosques tomando principalmente a factores externos; sin embargo, no se ha estudiado el suelo en forma integral considerando que éste es la fuente natural de nutrición de las plantas.

En México, específicamente en el Parque Cultural y Recreativo Desierto de los Leones, D.F. (PCyRDL-D.F.), la vegetación arbórea presenta daños por el impacto que en diferentes aspectos ejerce en el PCyRDL-D.F. el área metropolitana más grande del mundo, la cual ha provocado graves daños y alteraciones como las que se reflejan en la vegetación arbórea de *Abies religiosa*. Esta zona tiene gran importancia ya que es fuente de bienes y servicios para los habitantes de la ciudad de México, área de recarga de mantos acuíferos, purificación de agua y aire, hábitat para infinidad de organismos

o como generadora de servicios recreativos, educativos, culturales y para el desarrollo de trabajos científicos de diversa índole.

En el PCyRDL-D.F., se han realizado diversas investigaciones abordando el problema desde diversos puntos de vista a raíz de la declinación y muerte del bosque de oyamel (*Abies religiosa*): en ellas se ha evaluado el efecto de los oxidantes fotoquímicos en el follaje del arbolado: así mismo se ha determinado el contenido de metales pesados en los suelos y la caracterización nutricional del follaje (Alvarado, *et al.*, 1991<sup>3</sup>; Castro, *et al.*, 1993<sup>4</sup>; López y Rivera, 1995<sup>5</sup>; Castañeda, *et al.*, 1995<sup>6</sup>).

Sin embargo, actualmente no se conoce con exactitud que es lo que genera el deterioro del bosque. Se ha hablado que la presencia de masas de aire contaminado provenientes de la ciudad de México, aunado a la excesiva extracción de agua de los mantos acuíferos, así como la presencia de plagas y enfermedades puedan ser los posibles factores sinérgicos causantes de los síntomas de deterioro (Alvarado, *op. cit.*).

El presente trabajo tiene como antecedente, los muestreos realizados por los autores para conocer el contenido de metales pesados en siete sitios del parque, en donde se indica que las concentraciones más elevadas de metales en el suelo, a excepción del aluminio, se observaron en la parte más baja del parque y por el contrario, las menores concentraciones de Cu, Zn, Fe, Pb, Cr y Cd, se presentaron en la parte más alta (Castro *et al.*, *op. cit.*). En esta segunda fase el objetivo del estudio fue conocer el contenido de metales pesados en la vegetación aledaña a los sitios de muestreo de suelos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron muestreos de suelos y vegetación arbórea en la primavera de 1993, en las localidades del PCyRDL-D.F. y San Juan Tetla, estado de Puebla (testigo); la ubicación de los sitios y la colecta de muestras se basaron en el método propuesto por Castro *et al.* (*op. cit.*).

El muestreo de suelo se hizo a dos profundidades: 0-15 cm y 15-30 cm, en forma paralela se tomaron muestras de la vegetación dominante (arbórea, arbustiva, herbácea y pastos) y aledaña distinguiendo el follaje entre maduro, joven (renuevo), diferenciando el tronco o tallo, con el fin de detectar la absorción a diferentes niveles:

---

<sup>3</sup> Alvarado, D.; Bauer J. y J. Galindo. 1991. Declinación y muerte del bosque de oyamel (*Abies religiosa*) en el sur del valle de México.

<sup>4</sup> Castro, S. J.; K. V. González y T. T. Hernández. 1993. Determinación preliminar de algunos metales pesados en los suelos del Desierto de los Leones.

<sup>5</sup> López, L. M. A. y A. Rivera. 1995. Caracterización nutricional de follaje de oyamel en proceso de declinación.

<sup>6</sup> Castañeda G., M. I; M. A. López, L. y A. Velázquez M. 1995. Efecto de tratamientos de fertilización sobre algunos síntomas de declinación en una plantación de oyamel.

las muestras se colocaron en bolsas de papel con etiquetas identificadoras. Para el presente análisis sólo se consideraron cuatro sitios y el testigo, por considerar que éstos eran los más representativos del área de estudio (Cuadro N° 1).

SITIO	VEGETACIÓN DOMINANTE	VEGETACIÓN ALEDAÑA	EXPOSICIÓN	ALTITUD (m.s.n.m.)
1.- Cementerio	<i>Pinus ayacahuite</i> <i>P. montezumae</i> <i>P. patula</i> <i>P. radiata</i>	<i>Senecio</i> sp.	N	2,980
2.- Convento	<i>Abies religiosa</i>	Gramíneas <i>Acaena</i> sp. <i>Senecio</i> sp. <i>Fuchsia</i> sp. <i>Vinca minor</i> L.	NW	2,920
3.- Agua De Leones	<i>Pinus</i> sp.	Gramíneas	NE	3,320
4.- Cruz de Cólica	<i>Pinus</i> sp.	Gramíneas	Zenital	3,600
5.-San Juan Tetla (Testigo)	<i>Pinus</i> sp. <i>Abies religiosa</i> .	<i>Acaena</i> sp. <i>Senecio</i> sp. Gramíneas	Zenital NW	2,980 3,050

**Cuadro N° 1.** Características de los sitios de estudio.

Las muestras tanto de suelo como de vegetación fueron procesadas en el Laboratorio de Química del Ambiente del CENID-COMEF. Los análisis practicados fueron: pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, capacidad de intercambio catiónico, cationes intercambiables y los metales pesados en los cuales se utilizó como extractante ácido dietileno triamino penta acético (DTPA) quelato: en el caso de las plantas se usó una mezcla de ácidos nítricos y perclórico. Para su cuantificación se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente trabajo se consignan y discuten los resultados correspondientes a los elementos más significativos para cada uno de los sitios y localidades: aluminio, zinc, hierro, plomo y magnesio (Al, Zn, Fe, Pb y Mg). En el (Cuadro N° 2), se resumen los resultados obtenidos de los análisis de los suelos muestreados, sobresaliendo el sitio Cementerio con valores superiores a las 20 ppm para el Al, Pb y Fe (Figura N° 1), siendo el Zn y el Mg los de más bajas concentraciones.

A B	C	E	F	pH <sub>H2O</sub>	M.O	NT	P	C.I.C	Ca	Mg	Na	K	Al	Pb	Fe	Zn	Mn
				1:2.5		%		Me	q	/	100	g		p.	p.	m	
D 1	p t	N	2980	6.2a	12.6	0.3	3.2	43.1	26.4	5.8	0.53	3.4	34.2	35.0	30.0	7.9	2.5
				6.1b	8.3	0.2	2.9	36.8	20.5	3.2	0.39	3.1	37.5	77.0	29.6	5.3	2.7
D 2	A	NW	2920	5.5a	20.1	0.5	3.5	46.9	18.7	7.0	0.36	3.8	67.2	65.7	38.0	4.6	2.7
				5.8b	8.5	0.2	2.4	35.1	21.3	3.8	0.35	4.1	52.1	50.1	41.7	4.1	2.9
D 3	P	NE	3320	5.0a	16.9	0.4	3.2	39.8	10.3	1.0	0.72	3.4	142.1	62.0	6.1	5.8	3.2
				5.0b	11.9	0.3	2.7	36.0	7.0	0.8	0.51	3.5	140.0	60.0	6.5	3.7	3.0
D 4	P	Zen	3600	4.9a	11.7	0.4	1.2	35.9	4.6	1.4	0.78	3.1	137.2	42.2	18.1	3.9	3.8
				5.1b	9.0	0.2	1.3	32.8	5.3	1.7	0.28	3.2	133.7	65.9	16.7	1.8	3.7
S 5c	A	NW	3050	5.4a	16.2	0.5	0.6	32.7	12.8	8.4	0.2	0.16	6.8	6.2	4.8	3.4	3.6
				5.0b	15.6	0.4	1.6	35.6	12.9	10.0	0.4	0.23	9.8	26.0	12.2	2.7	2.7
S 5d	P	Zen	2980	6.0a	9.2	0.5	1.8	34.0	25.2	7.4	0.3	0.5	13.2	10.0	8.0	4.8	2.2
				6.1b	9.7	0.4	1.6	32.7	24.5	7.8	0.1	0.3	12.2	6.0	8.4	2.6	1.3

A= Sitios : (D) Desierto de los Leones D.F. y (S) San Juan Tetla

B= Localidades : 1)Cementerio, 2) Convento, 3)Agua de Leones, 4)Cruz de Cólica; 5c, 5d) San Juan Tetla

C= Vegetación : A =Abies, P= Pino y Pt=Plantación de pino

E=Exposición

F=Altitud

**Cuadro N° 2.** Contenido de metales pesados, relacionados con otras propiedades del suelo a dos profundidades 0-15 cm (a) y 15-30 cm (b).

SITIO	VEGETACIÓN	Ca	Mg	K %	Na	N	Fe	Zn p.	Pb p.	Cu m.
CEMENTERIO I	P.A.H.J	0.62	0.07	1.9	0.09	1.15	189	1100	27	12
	P.A.H.V	1.20	0.10	0.73	0.08	1.90	211.3	780	23.5	0.25
	P.A.T	0.66	0.10	0.76	0.19	1.05	586.0	1610	50.0	7.00
	P.M.H.J	0.96	0.12	2.00	0.12	2.04	160.0	800.0	44.0	5.31
	P.M.H.V	0.28	0.10	1.08	0.08	1.33	212.0	440	32.0	4.7
	P.M.T	0.20	0.02	1.26	0.12	0.84	232.0	600	34.0	7.2
	S.H	1.06	0.07	0.39	0.06	3.43	54.5	395	10.0	7.0
	S.Ta	3.0		0.92	0.10	1.0	544	1380	40	20.0
	V.H	1.86	0.04	2.48	0.07	3.01	434	1340	48	6.0
	V.Ta	3.72	0.08	0.80	0.15	1.42	702	1480	24	4
	S.H	2.94	0.18	0.42	0.08	1.33	742	1780	30	22
S.Ta	3.0	3.0	2.56	0.03	1.84	442	1120	56	2	
CONVENTO	A.H.J	0.53	0.09	1.64	0.05	2.91	171.8	705	17	5
	A.H.V	1.63	0.12	1.51	0.04	1.90	392.0	1090	36	7
	A.T	1.38	10.0	0.78	0.06	1.15	622.0	1150	8.5	7
	Pas	0.18	0.04	0.93	0.01	2.53	66.5	320	9.5	2
	S.H.Ta	3.16	0.66	1.18	0.06	3.86	422	460	20	34
	Ac.H	1.99	0.74	0.58	0.01	3.12	626	1320	36	14
	Ac.Ta	0.70	0.15	0.38	0.001	2.96	400	770	61	16.3
	F.Ta	1.86	0.54	4.19	0.06	2.17	528	1320	46	20
	F.H	2.48	0.38	3.49	0.01	4.04	538	1600	24	10
	V.H	3.21	0.26	1.22	0.112	2.53	410	940	38	16
V.Ta	1.12	0.14	4.15	0.07	2.13	156	920	36	14	
AGUA DE LEONES (LOS HONGOS)	P.M.H.J	0.12	0.15	3.31	0.01	2.36	52.8	452	23	0.66
	P.M.H.V	0.09	0.05	1.31	0.01	1.60	299	371	11.3	1.2
	P.M.T	0.10	0.04	3.37	0.01	0.90	440.7	1078.3	19.3	2.7
CRUZ DE COLICA	Pas.	0.10	0.01	3.64	0.01	0.98	173.50	281.7	17.7	3
	P.M.H.J	1.2	0.07	3.76	0.01	2.58	256.3	580.0	20.0	1.25
	P.M.H.V	0.27	0.01	1.34	0.005	1.83	354.0	846.7	29.3	2.7
	P.M.T	0.29	0.12	3.70	0.003	1.08	942.7	1826.7	55.3	6
SAN JUAN TETLA <i>Abies</i>	Pas.	0.47	0.02	1.26	0.006	1.01	175.0	327.5	22.0	3
	A.H.J	1.81	0.81	1.72	0.003	2.20	0.25	0.14	0.04	1.05
	A.H.V	1.95	0.95	1.51	0.003	2.0	0.21	0.18	0.03	2.04
	A.T	1.51	0.99	0.95	0.004	1.7	0.42	0.65	0.04	1.06
SAN JUAN TETLA Pino	Ac.H.Ta	2.15	0.85	0.62	0.001	2.8	1.72	0.91	0.05	2.01
	S.H.Ta	1.74	0.64	0.91	0.0005	2.03	0.03	0.11	0.03	0.93
	P.M.H.J.V.	1.49	0.72	1.70	0.038	0.70	0.08	0.15	0.01	1.04
	P.M.T.	1.93	0.20	1.03	0.029	0.27	0.11	0.71	0.03	1.06

**Cuadro N° 3.** Promedio de contenidos de Metales Pesados en la vegetación dominante en los diferentes sitios.

Claves de la vegetación.

*P. ayacahuite* hoja-jovenes : P.A.H.J.  
*P. ayacahuite* hoja vieja : P.A.H.V.  
*P. ayacahuite* tronco: P.A.T.  
*P. montezumae* hoja-jovenes: P.M.H.J.

*Abies* hoja joven : A.H.J.  
*Abies* hoja vieja : A.H.V.  
*Abies* tronco : A.T.  
 Pasto : Pas .

*P. montezumae* hoja-vieja: P.M.H.V.

*P. montezumae* tronco: P.M.T.

*Senecio sp.* hoja: S.H.

*Senecio sp.* tallo: S.Ta.

*Vinca minor L.* hoja: V.H.

*Vinca minor L.* tallo: V.Ta.

*Salicaceae* hoja: S.H.

*Salicaceae* tallo: S.Ta.

*Senecio sanguisorbae D.C.* hoja y tallo: S.H.Ta.

*Acaena elongata L.* hoja: Ac.H.

*Acaena elongata L.* tallo: Ac.Ta.

*Acaena elongata L.* Cadillo: Ac.H.Ta.

*Fuchsia microphylla* tallo: F.Ta.

*Fuchsia sp.* hoja: F.H.

Con respecto a la vegetación (Cuadro N° 3), en plantas herbáceas y en el pino, se detectaron altas concentraciones de Zn y Fe, como se muestra en las (Figuras Nos. 2 y 3). Sin considerar que los resultados obtenidos marquen un patrón, se observa que las hojas jóvenes, así como el tallo o tronco, son los que más absorben dichos elementos, lo que podría deberse al efecto de sedimentación del Zn y el Fe procedentes del ambiente.

Burton *et al.* (1983)<sup>7</sup>, señalan a los tallos como un área de gran impacto en relación a la toxicidad por metales pesados, por lo que se esperaría que sus concentraciones servirán como un índice de los efectos tóxicos sobre las plantas.

El plomo es un metal pesado común en las partículas de la atmósfera, el cual se acumula en el suelo por causas naturales; en este caso, se considera que las concentraciones determinadas en las muestras analizadas se debe a causas antropogénicas, ligadas principalmente a ambientes urbanos (Elliott *et al.*, 1986)<sup>8</sup>. La ubicación del sitio, puede explicar la permanencia del plomo en el suelo, no así en la vegetación (Figura N° 2), ya que en ésta se encontraron concentraciones mínimas de 23 ppm y máximas de 50 ppm en el tronco de *Pinus ayacahuite*.

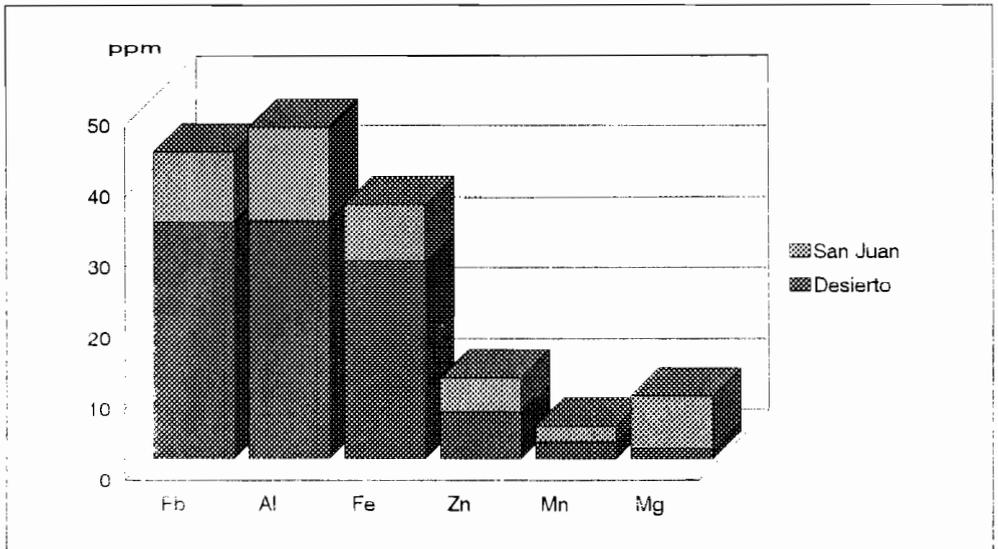
En las muestras de suelo tomadas a dos profundidades, se observa una concentración de metales que sugiere depósito aéreo y un transporte lento hacia los estratos inferiores como es el caso del plomo, el cual está en mayor proporción en la capa inferior del sitio Cementerio (77 ppm), como se puede observar en la Figura N° 1.

En los pinos, así como en la vegetación herbácea las concentraciones de cobre y magnesio (Cu y Mg), fueron bajas (Figuras Nos. 2 y 3).

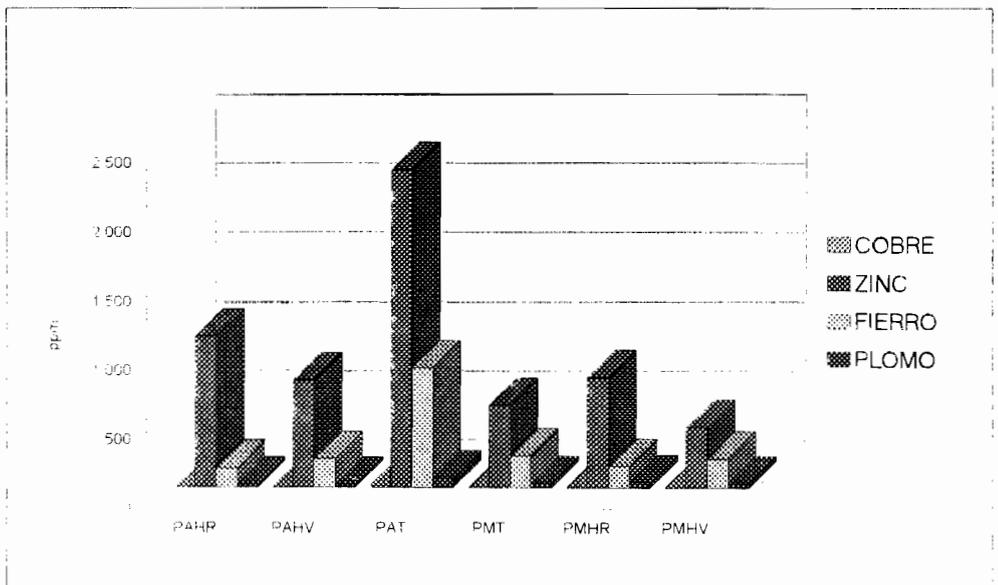
---

<sup>7</sup> Burton, K. W; E. Morgan; A. Roig. 1983 The influence of heavy metals upon the growth of sitks-spruce in south wales forests.

<sup>8</sup> Elliott, H. A.; M. R. Liberati y C. P. Huang. 1986. Absorción competitiva de metales pesados en suelos.



**Figura N° 1.** Contenido de metales pesados en una población de *Pinus* sp. en los sitios Cementerio, D. F. y San Juan Tetla, Puebla (0-15 cm).



**Figura N° 2.**

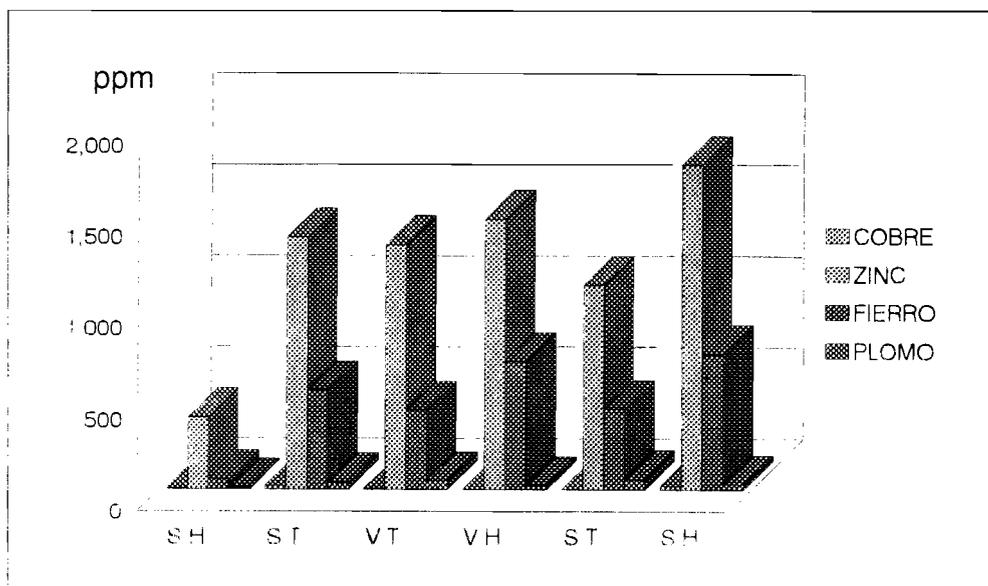
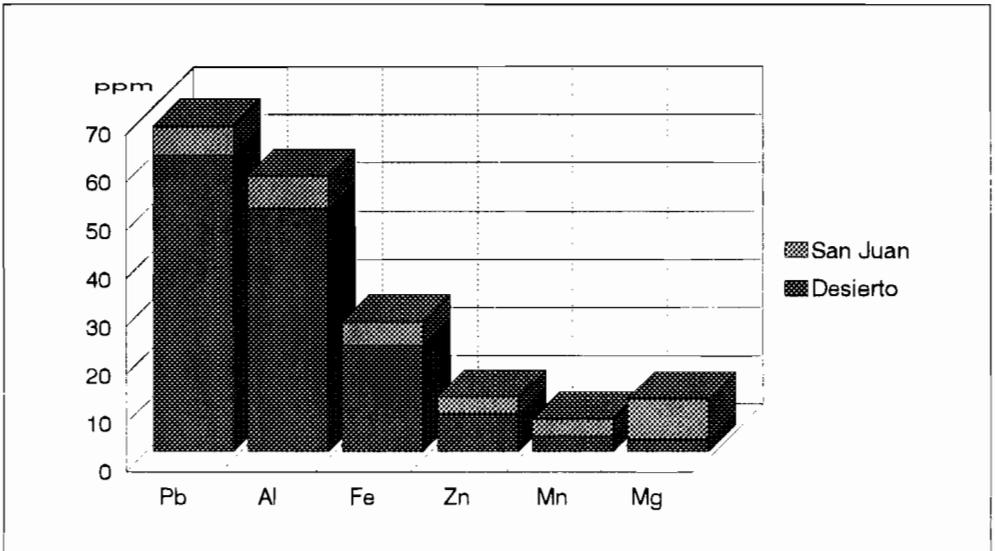


Figura N° 3.

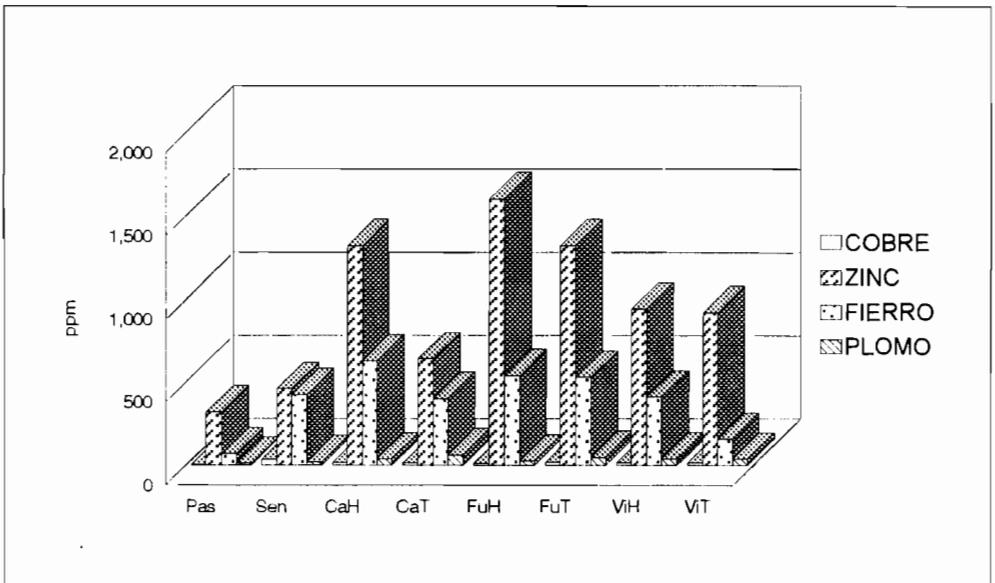
El sitio Convento al igual que el sitio Cementerio han sido señalados en otros trabajos (Alvarado *et al.*, *op. cit.*; Castro *et al.*, *op. cit.*) como las áreas con mayor deterioro en la vegetación, encontrando en estos sitios valores mayores de Pb, Al, Fe y Zn en los suelos, resultados que se muestran en las (Figuras Nos. 1 y 4). Cabe señalar que, muchos lugares se encuentran cercanos a carreteras; en algunos estudios se ha demostrado que las altas concentraciones de Zn, Cd, Cr y Pb encontrados en sitios adyacentes a ciudades en donde se encuentran carreteras y avenidas transitadas, provienen estos contaminantes de los vehículos que por ellas circulan (González y Esquivel, 1981)<sup>1</sup>

En los individuos de *Abies religiosa* y en las plantas herbáceas del sitio Convento, el Zn y el Fe se presentaron en altas concentraciones con variaciones en función de la especie, siendo las gramíneas y el *Senecio* donde estos metales se detectaron en menos de 400 ppm. En el resto de las herbáceas encontradas en este sitio, el zinc duplicaba la proporción de fierro. Por otro lado, el Cu y el Pb pasaron a un rango muy bajo, menos de 30 ppm (Figuras Nos. 5 y 6), la concentración en *Abies religiosa* señala una clara diferencia entre ellos, siguiendo una tendencia ascendente en la concentración de Zn, Fe y Pb y de las hojas jóvenes a maduras hacia el tronco (Figura N° 6). Se puede considerar los datos de la especie de *Abies* como un índice del contenido de metales pesados en la vegetación en el sitio Convento.

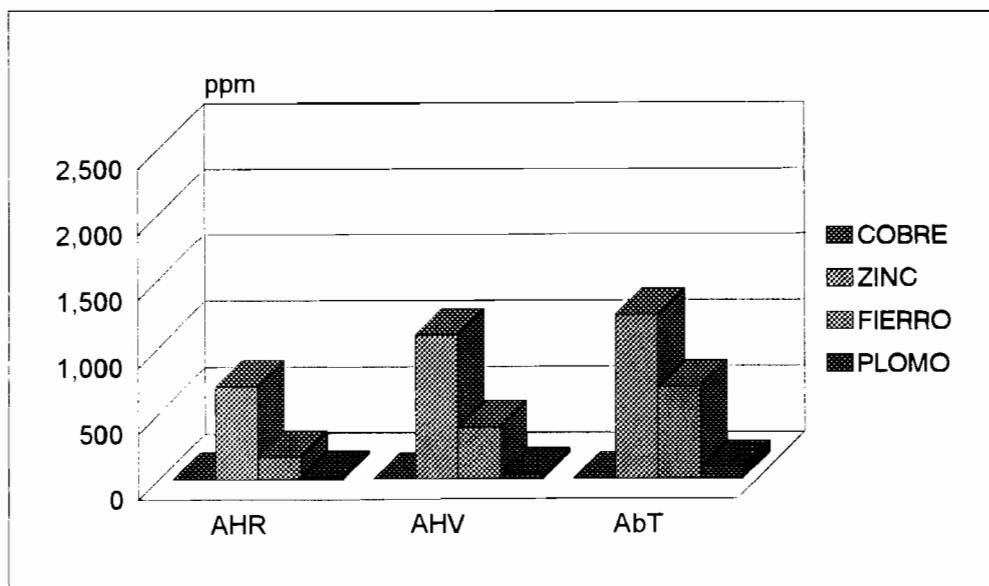
<sup>1</sup> González, P. A. y H. B. Esquivel, 1981 Cuantificación de metales pesados en suelos y plantas del D.F.



**Figura N° 4.** Contenido de metales pesados en un bosque de *Abies* en los sitios Convento, D. F. y San Juan Tetla, Puebla (0-15 cm).



**Figura N° 5.** Contenido de metales pesados en la vegetación herbácea del sitio Convento, D. F.



**Figura N° 6.** Contenido de metales pesados en la vegetación de coníferas del sitio Convento, D. F.

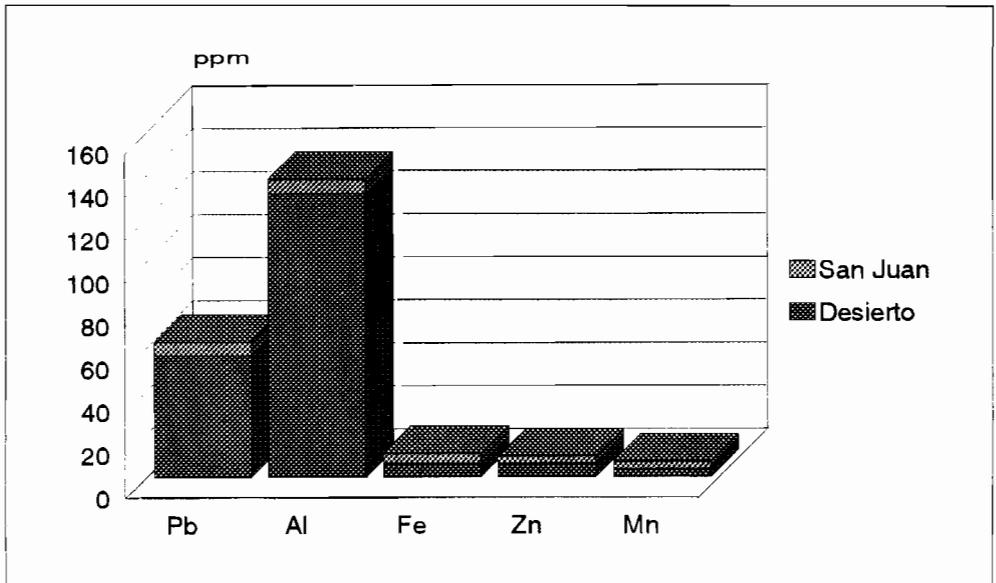
Con base en los resultados obtenidos, la absorción y toxicidad de metales varía con la especie, las características del suelo, así como la naturaleza, concentración y proporción de metales pesados en combinación (Sarkunan *et al.*, 1989)<sup>10</sup>.

En el suelo se registró un pH de 5.8, la cantidad de Al, Pb y Fe determinado a la profundidad de 15-30 cm, donde el pH es de 5.5; el contenido de los mismos es menor a la profundidad de 0-15 cm, lo que puede indicar la solubilidad de éstos: sin embargo, el zinc se detectó en mayor concentración a esta profundidad.

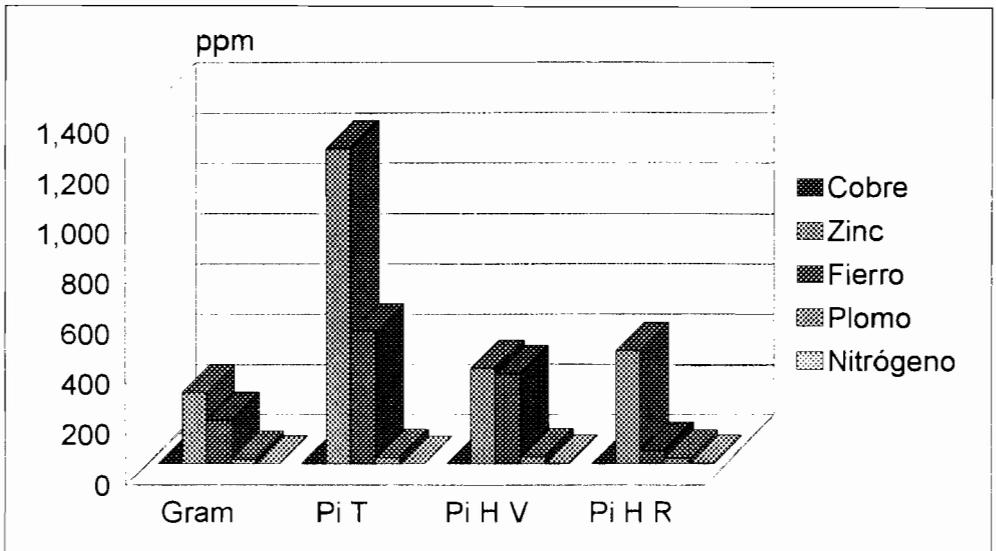
Según Elliott *et al.* (*op. cit.*), el pH bajo determina la solubilidad de los elementos metálicos y el aumento de la disponibilidad de algunos de ellos para las plantas, que son de más fácil absorción por las raíces.

En el sitio Agua de Leones, el aluminio está en altas concentraciones, tanto en el nivel superficial como en el siguiente con valores de 142 y 140 ppm respectivamente. Se considera que se debe a los valores de pH, ya que en ambas profundidades se tiene 5.0. En estas condiciones se presenta el fenómeno de intercambio de iones hidrógeno por aluminio, teniendo sustitución con el magnesio por lo que las concentraciones de éste elemento disminuyen en el suelo (Figura N° 7).

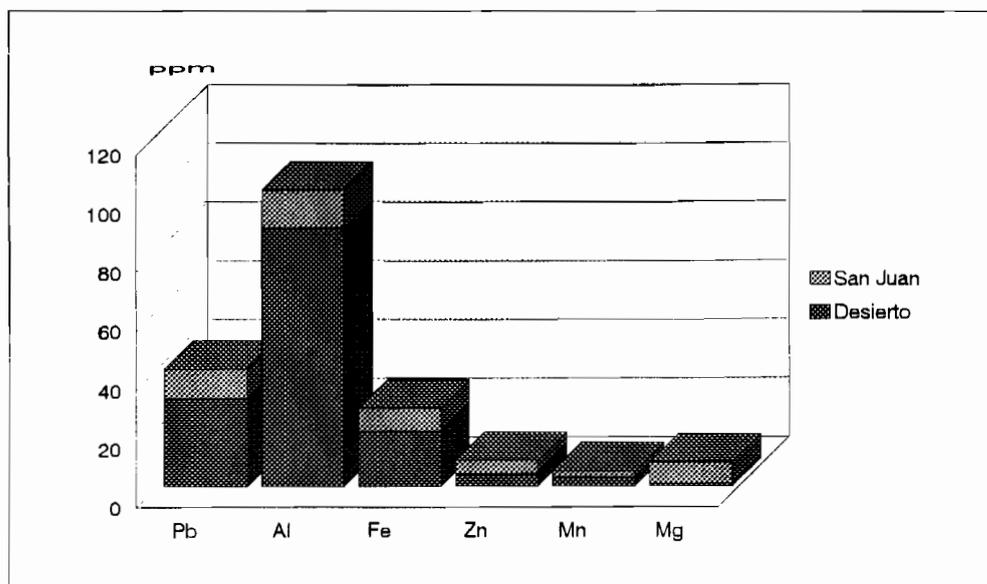
<sup>10</sup> Sarkunan, V.; A. K. Misra y P. K. Nayar. 1989. Interaction of Zinc, Copper and Nickel in soil on yield and metal content in rice.



**Figura N° 7.** Contenido de metales pesados en un bosque de *Abies* en los sitios Desierto de los Leones, D. F. y San Juan Tetla, Puebla (0-15 cm).



**Figura N° 8.** Contenido de metales pesados en la vegetación de coníferas en el sitio Agua de Leones, D. F.



**Figura N° 9.** Contenido de metales pesados en un bosque de pino en los sitios Cruz de Cólca, D. F. y San Juan Tetla, Puebla (0-15 cm.)

El pH ácido es una propiedad química que favorece la solubilidad de algunos metales pesados como el Zn, Fe, Al, Mg, Mn, etc. (Buckmann y Brady, 1969)<sup>11</sup>. Es conveniente aclarar que en el sitio Agua de Leones así como en los demás, el aluminio únicamente se encontró en los suelos y su proporción máxima alcanzó hasta los 142.1 ppm en la profundidad de 0-15 cm; con una relación directa entre el pH más bajo en los Sitios Agua de Leones que corresponde al valor de 5.0 y en Cruz de Cólca se determinaron 137.2 ppm de aluminio, con un pH de 4.9 en la misma profundidad (Figuras Nos. 7 y 9). Ambos sitios son los ubicados a mayor altitud sobre el nivel del mar.

El análisis de la vegetación en el sitio Agua de Leones no registró aluminio, por lo que pueden existir dos posibilidades: 1) que el método analítico utilizado no lo detectó, 2) la planta no haya podido absorber este elemento, por lo tanto sólo se encuentre en el suelo y no en las plantas.

Con respecto al Pb y el Fe se observó que el primero se determinó en igual proporción tanto en el suelo como en la vegetación (Figuras Nos. 7 y 8); el segundo fue absorbido en su mayor parte por el tallo o tronco de los pinos, siguiendo en orden, las hojas viejas, las gramíneas y al final las hojas jóvenes.

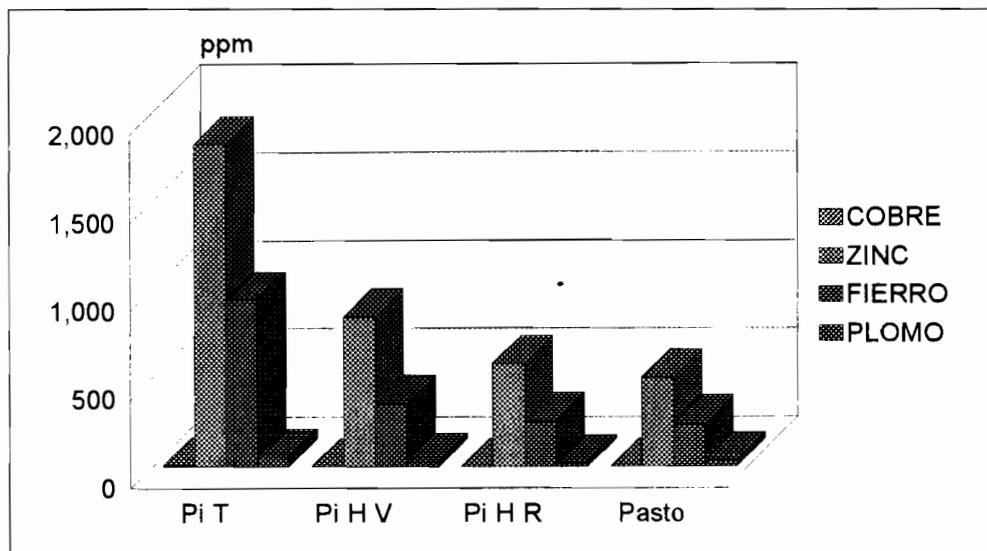
<sup>11</sup> Burton, K. W; E. Morgan; A. Roig. 1983 The influence of heavy metals upon the growth of sitks-spruce in south wales forests.

El zinc se registró en grandes cantidades en la vegetación en éste sitio con una proporción de 1.100 ppm en el tronco siguiendo las hojas jóvenes, viejas y al final las gramíneas con 190 ppm, de tal manera que la concentración de estos elementos es marcadamente mayor en el tallo o tronco. Se sugiere aumentar el número de muestras para así identificar, si el tallo pudiera servir como índice de los efectos tóxicos del zinc sobre las plantas, como lo señala (Burton *et al* , *op. cit.*).

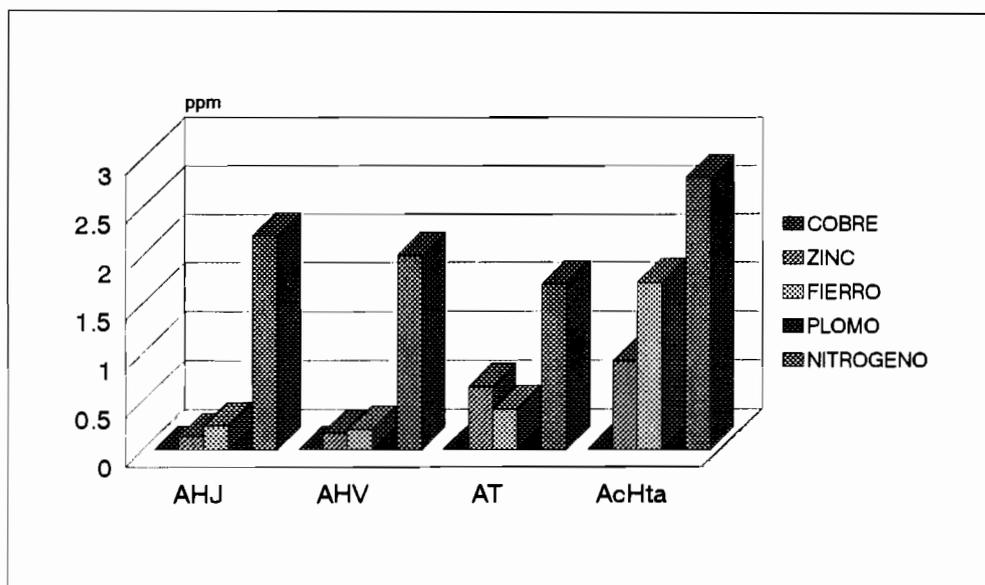
El sitio Cruz de Cólica exposición zenital y altitud de 3,600 msnm. presenta mayor cantidad de Al y Fe en el estrato superficial y menor concentración de plomo, lo contrario se presenta en el estrato inferior (Figura N° 9).

El plomo se detectó en proporciones semejantes tanto en el suelo como en la vegetación (Figura N° 10); mientras que el Zn y el Fe fueron absorbidos por la vegetación y trasportados al tallo en su mayor parte con valores de 1,600 y 800 ppm, respectivamente. En las hojas maduras y jóvenes la parte proporcional de la cantidad anterior y la menor en el pasto muestreado en este sitio con 350 y 250 ppm para cada elemento, tanto en suelo como en vegetación (Figuras Nos. 9 y 10).

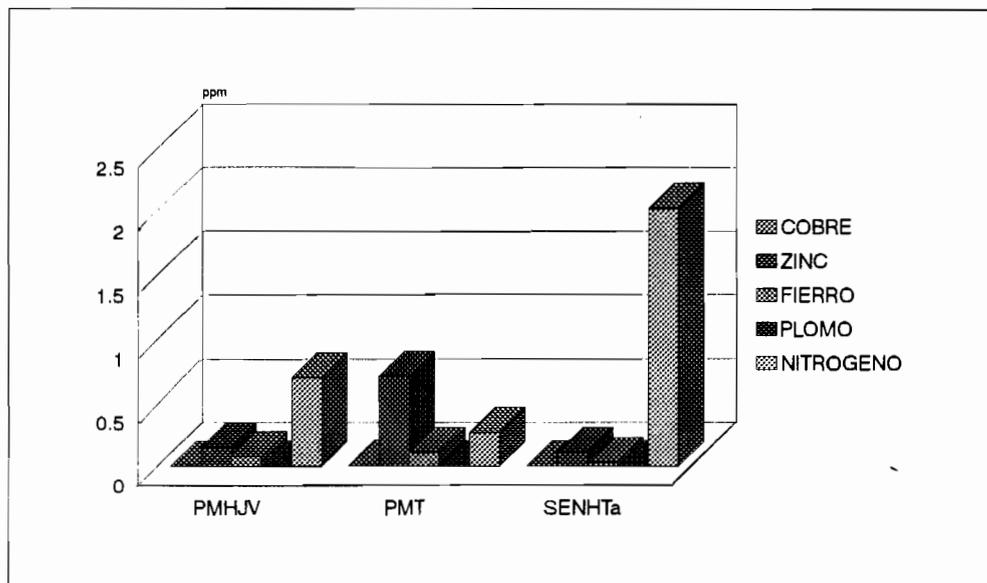
Para tener un punto de comparación se localizaron dos sitios en San Juan Tetla, los cuales se tomaron como testigos. En estos sitios las concentraciones de Al, Zn, Fe, Pb y Cu en el suelo fueron muy pequeñas, al contrario del magnesio que se registró en mayor cantidad, con variaciones de 7.4 a 10.0 meq/100 g .



**Figura N° 10.** Contenido de metales pesados en la vegetación del sitio Cruz Cólica, D. F.



**Figura N° 11.** Contenido de metales pesados en la vegetación de *Abies* en el sitio de San Juan Tetla, Puebla.



**Figura N° 12.** Contenido de metales pesados en la vegetación de coníferas del sitio San Juan Tetla, Puebla.

En la vegetación sucede algo similar (Figuras Nos. 11 y 12), los elementos Fe, Zn, Pb, Cu, y Na se encuentran en pequeñísimas cantidades, no así el Ca, Mg y N (López y Rivera, *op. cit.*).

Las altas concentraciones de aluminio en los suelos de Agua de Leones y Cruz de Cólica, sitios localizados en la parte más alta donde los gases como dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno se encuentran en mayor cantidad y los cuales por medio de la lluvia son disueltos como ácidos y depositados en el suelo, se puede notar que las características del mismo, así como el amortiguamiento en relación al pH pueden influir en la aluminización de los suelos en estos sitios, este elemento es poco soluble a valores de pH 5.6, pero soluble a pH menores, teniendo la característica de presentar sustitución con el magnesio por lo que el mismo se encuentra en menor contenido en los sitios Agua de Leones y Cruz de Cólica, si los comparamos con los valores encontrados en los sitios testigos de San Juan Tetla. El magnesio es un elemento importante en producción de clorofila en las plantas y al encontrarse deficiente en el suelo se puede reflejar en la vegetación.

El plomo es un metal pesado de los más comunes en ambientes urbanos y el cual se acumula por causas antropogénicas, en este caso el plomo se encuentra en mayor cantidad en los cuatro sitios del PCyRDL-D.F., si se comparan con los contenidos en San Juan Tetla: cabe señalar que el plomo es inmóvil, al igual que otros elementos como el mercurio y el oro, pero pueden ser solubles a pH ácidos.

El hierro elemento esencial para las plantas en pequeñas concentraciones soluble a pH ácidos 5.5 a 6.5, se presentó en mayor concentración en los sitios Cementerio y Convento, este elemento al irse acumulando causa ferrosis férrica en los suelos.

El Zn y el Fe fueron los elementos más representativos encontrados en la vegetación de la mayoría de los sitios del PCyRDL-D.F., si se comparan con los contenidos en San Juan Tetla, se puede deber a las características de radio iónico similar el Fe con el Mn, el cual disminuye en el suelo, además puede unirse al azufre, elemento que se puede combinar principalmente con hidrógeno y oxígeno para formar ácidos. El zinc compete con el magnesio en los procesos de intercambio por lo que disminuye su contenido en el suelo y aumenta su deficiencia en las plantas.

El Cu y el Pb fueron los que se encontraron en menor cantidad en la vegetación, sin embargo si los comparamos con los valores obtenidos en San Juan Tetla estos son elevados, ya que en ese sitio se presentan en trazas. Después de estar muestreando tanto el suelo como la vegetación durante tres años éstos son los resultados que nos indican parte de los efectos en la vegetación, que de alguna forma son ocasionados por los contaminantes que existen en la atmosfera, de tal manera que debemos conocer cuales son las fuentes de emisión así como sus efectos en la vegetación, ya que la

proporción de los metales encontrados es notoria con respecto a los encontrados en el testigo, quizá no afecten directamente. Por lo que una vez conocidas las concentraciones de estos metales tanto en suelos como en vegetación, es necesario conocer si existe toxicidad por traslocación o sustitución de elementos mayores en la vegetación lo cual puede generar deficiencia o toxicidad en función de su contenido, o pérdida de los mismos por lixiviación en el suelo.

## CONCLUSIONES

1. Las concentraciones más altas de aluminio en el suelo se encontraron en los sitios de Agua de Leones y Cruz de Cólica, localizados en la parte más alta teniendo pH de 5.0 y 4.9, respectivamente, en la localidad del PCyRDL-D.F.
2. Los contenidos de Pb y Fe en el suelo fueron detectados en mayor cantidad en los sitios Convento y Cementerio, dichos lugares se encuentran ubicados en la parte baja del PCyRDL-D.F. y cercanos a carreteras.
3. En la vegetación de los sitios localizados en el PCyRDL-D.F. se detectaron elevadas cantidades de Zn y Fe, tanto en los lugares altos como los que se encuentran en las partes bajas. El aluminio encontrado en altas concentraciones en el suelo, no se encontró en las plantas.
4. La mayor concentración de metales pesados en el suelo como Al, Pb y Fe se detectaron en los sitios ubicados en el PCyRDL-D.F. y estos mismos elementos fueron encontrados en San Juan Tetla, en mínimas cantidades.
5. El magnesio es un elemento importante en la producción de clorofila en las plantas y al encontrarse deficiente en el suelo se puede reflejar en la vegetación. Este elemento fue encontrado en bajas concentraciones en el Desierto y en cantidades mayores en San Juan Tetla.
6. En la vegetación de los sitios del Desierto los metales Fe, Zn, Pb, Cu y Na se detectaron en mayor cantidad, y en San Juan Tetla, en pequenísimas cantidades valores traza. Lo contrario se tiene en el caso del magnesio.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, D.; J. Bauer y J. Galindo. 1991. Declinación y muerte del bosque de oyamel (*Abies religiosa*) en el sur del valle de México. *Agrociencia*. 1(3): 130-14.
- Buckman, H. O. and Brady, N. C. 1969. The nature and properties of soils. The Macmillan Company, Toronto, Canadá. 653 p.
- Burton, K. W; Morgan, E. and Roig, A. 1983 The influence of heavy metals upon the growth of sitks-spruce in south wales forests. *Plant & Soils* N° 73 Dr. W. Junk Publishers.
- Castro S., J.; V. González K. y T. Hernández T. 1993. Determinación preliminar de algunos metales pesados en los suelos del Desierto de los Leones. Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. Soc. Mex. Rec. For. A.C., U.A.A.A.N. Saltillo, Coah. México 59 p.
- Castañeda G., M. I.; M. A. López L. y A. Velázquez M. 1995. Efecto de tratamientos de fertilización sobre algunos síntomas de declinación en una plantación de oyamel. I Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. Soc. Mex. Rec. For. A.C., U.A.A.A.N. Saltillo, Coah. México. 52 p.
- Elliott, H. A.; Liberati, M. R. and Huang, C. P.. 1986. Absorción competitiva de metales pesados en suelos. *Jour ,Environ Qual*. 15(3): 214-219.
- González P., A. and B. Esquivel H. 1981 Cuantificación de metales pesados en suelos y plantas del D.F. *Rev. Soc. Quim. Mex*. 25 (4): 486-487.
- López L., M. A. y A. Rivera. 1995. Caracterización nutricional de follaje de oyamel en proceso de declinación. II Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Soc. Mex. Rec. For. A.C. Chapingo, México. 50 p.
- \_\_\_\_\_ ; M. I. Castañeda G. y A. Velázquez M. 1995. Sistema de evaluación del grado de daño de árboles de oyamel en proceso de declinación. II Congreso Mexicano de Recursos Forestales Soc. Mex. Rec. For. A.C. Chapingo, México. 51 p.
- Lim, C.H. and Jackson, M. L.. 1982. Dissolution for total element analysis. *In*: Page, A. L. *et al.* (eds) *Methods of soil analysis*. Madison, Wisconsin, USA. pp. 1-12.

- Lindsay, W. L. and Norvell, W. A. 1978. Developmmt of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Sci. Soc. Am. J., 42: 421-428.
- Lave, D. A., 1971. Evaluation of plant-available Zn by the DTPA soil test. 0.1 N HCl extraction, and labile Zn measurements. Ph. D. Thesis. Departament of Agronomy Colorado State University, Fort Collins, Univ. Microfilms, App Arbor, Mich. (Diss. Abstr. 31: 6157B).
- Sarkunan, V.; Misra, A. K. and Nayar, P. K.. 1989. Interaction of Zinc, Copper and Nickel in soil on yield and metal content in rice. Jour of Envir. Sci Health 24(5): 459-466.