



# EVALUACIÓN DE DOS MÓDULOS AGROFORESTALES CON “CULTIVO EN CALLEJONES” EN LA SIERRA PURÉPECHA, MICHOACÁN

## ASSESSMENT OF TWO AGROFORESTRY MODULES WITH “ALLEY CROPPING” IN THE PUREPECHA SIERRA OF MICHOACAN

H. Jesús Muñoz Flores<sup>1</sup>, J. Jesús García Magaña<sup>2</sup>, Gabriela Orozco Gutiérrez<sup>1</sup>, Víctor Manuel Coria Ávalos<sup>1</sup> y Ángel Martínez Cruz<sup>2</sup>

### RESUMEN

En Michoacán, un millón de hectáreas se dedican a cultivos de baja productividad que además degradan el suelo y registran poca rentabilidad. Se estima que dos millones de hectáreas son susceptibles de recuperarse mediante reforestaciones y plantaciones comerciales. El objetivo del presente trabajo fue evaluar los componentes tanto agrícolas como forestales en dos módulos establecidos con la modalidad de cultivo en callejones: uno en la comunidad indígena de San Lorenzo, Uruapan (1996), y otro en Cheranástico, Paracho (1999). El primero, a 11 años de su implementación no mostró diferencias importantes entre los espaciamientos, de acuerdo con los parámetros dasométricos evaluados (altura total, diámetro normal, volumen, supervivencia, sanidad y vigor) y la avena tuvo un rendimiento en 1999 de 6.5 t ha<sup>-1</sup> de peso verde y durante el ciclo 2000, de 2.8 t ha<sup>-1</sup>, lo que se atribuye al crecimiento de las ramas que redujeron el área adecuada para su desarrollo, por el efecto de la sombra. El segundo, a ocho años de su instauración, tuvo variaciones significativas respecto al diámetro normal con espaciamiento 2.5 x 4.0 m. y *Pinus greggii* presentó mayor crecimiento diamétrico en esta configuración. Se concluye que el espaciamiento óptimo para el establecimiento de plantaciones agroforestales en la Sierra Purépecha es de 2.5 x 4.0 m, y al utilizarlo en callejones es posible obtener una producción mixta.

**Palabras clave:** Avena, cultivo en callejones, espaciamiento, sistemas agroforestales, *Pinus greggii* Engelm. ex Parl., *Pinus pseudostrabus* Lindl.

### ABSTRACT

In Michoacan, a million hectares are devoted to low productivity crops which, besides, degrade the soil and have a low profitability. Two million hectares are estimated to be likely to recover through reforestation and commercial plantations. The purpose of this paper was to assess the agricultural and forestry components in two modules established as alley cropping: one in the indigenous community of *San Lorenzo, Uruapan* (1996) and one in *Cheranástico, Paracho* (1999). The former did not show significant differences between spacings 11 years after its implementation, according to the assessed dasometric parameters (total height, normal diameter, volume, survival, health and vigor). In 1999 oats had a yield of 6.5 t ha<sup>-1</sup> of green weight, and during the 2000 cycle, of 2.8 t ha<sup>-1</sup>; this can be attributed to the growth of branches that reduced the adequate area for this crop's development, due to the shade effect. The latter module showed significant variations as to the normal diameter with a spacing of 2.5 x 4.0 m after eight years of established; this configuration allows a larger diametric growth of *P. greggii*. We conclude that the optimal spacing for the establishment of agroforestry plantations in the Purepecha Sierra is 2.5 x 4.0 m, and by using it in alley croppings, it is possible to obtain a combined yield.

**Key words:** Oats, alley cropping, spacing, agroforestry systems, *Pinus greggii* Engelm. ex Parl., *Pinus pseudostrabus* Lindl.

Fecha de recepción/ date of receipt: 14 de abril de 2011; Fecha de aceptación/ date of acceptance: 11 de abril de 2012

<sup>1</sup> CE. Uruapan, CIR-Pacífico Centro, INIFAP. Correo-e: munoz.hipolitojesus@inifap.gob.mx

<sup>2</sup> Facultad de Agrobiología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

## INTRODUCCIÓN

El estado de Michoacán ocupa el primer lugar a nivel nacional en cuanto a producción de resina, el tercero en riqueza forestal de clima templado y el quinto en biodiversidad; sin embargo, también es sujeto de la tasa de deforestación más alta, lo que repercute en la fragmentación del hábitat de taxa importantes (Sáenz *et al.*, 2002). Durante el periodo comprendido entre 1981 y 1998 se cuantificaron 5 079 039 ha con problemas de degradación edáfica, atribuidos principalmente a la pérdida de la masa arbórea (28.5 %) y al cambio de uso del suelo (28.5 %); asimismo, la superficie de bosques, cuerpos de agua y matorrales disminuyeron 13.6 %, 18.9 % y 34.5 %, respectivamente; en contraparte, la extensión dedicada a la agricultura de temporal aumentó 10.4 % y la de riego, 16.9 %. Esta problemática fundamenta la urgente necesidad de implementar acciones que contribuyan a disminuir su impacto ecológico, una opción viable son los sistemas agroforestales que permiten diversificar la producción, descender las tasas de erosión, recuperar la inversión a corto y mediano plazo, y reconvertir terrenos abandonados o utilizados con cultivos de baja productividad (Sáenz *et al.*, 2001).

La agroforestería es un nombre colectivo para las prácticas que integran el establecimiento de árboles perennes en asociación con siembras agrícolas o actividades pecuarias, en combinaciones espaciales o temporales; lo que favorece las interacciones ecológicas y económicas entre los componentes maderables y no leñosos (Lundgren, 1987); para que la yuxtaposición de estos sea benéfica debe haber resultados provechosos en todo el sistema, ya que los efectos pueden ser tanto positivos como negativos. Se considera que se relacionan de manera complementaria si la presencia de un componente aumenta el rendimiento de otro; neutral, si no se registran consecuencias; y competitiva, si la presencia de uno reduce la productividad del otro; el objetivo de este método es identificar las interacciones favorecedoras para maximizarlas.

Los callejones son una modalidad que consiste en establecer filas de árboles en asociación con especies agrícolas. El concepto se creó para evitar la disminución de la fertilidad del suelo, típica de la agricultura migratoria y que se ha resuelto tradicionalmente con prácticas de barbecho; de esta manera se toma en cuenta el área y en forma simultánea el crecimiento del árbol (Torquebiau, 1997). En el presente trabajo se tiene como premisa que dicha técnica contribuye a controlar la pérdida de suelo y a mantener sus propiedades físicas, además de permitir la producción simultánea de madera y alimento de temporal; el objetivo fue evaluar los componentes agrícolas y forestales en dos módulos de callejones establecidos en dos localidades de la Sierra Purépecha, Michoacán.



## INTRODUCTION

The state of Michoacan occupies the first place at national level in resin production, the third in forest wealth in temperate climates, and the fifth in biodiversity. However, it also has the highest deforestation rate, which results in the fragmentation of the habitat of major taxa (Sáenz *et al.*, 2002). During the period between 1981 and 1998, 5 079 039 ha with edaphic degradation issues were quantified; these issues were ascribed mainly to the loss of tree mass (28.5%) and to the change of use of the soil (28.5 %); also, the surface of the forests, body waters and shrubs were reduced by 13.6 %, 18.9 % and 34.5 %, respectively; in contrast, the extension dedicated to rain fed agriculture increased by 10.4 %, and that of irrigation agriculture, by 16.9 %. There is an urgent need to implement actions to reduce the ecological impact of these problems. Viable options are the use of agroforestry systems that allow diversification of the yield, the reduction of the erosion rates, the recovery of short- and medium-term investment, and the reconversion of abandoned lands or lands used for low-productivity crops (Sáenz *et al.*, 2001).

Agroforestry is a collective name for those practices in which perennial trees are established in association with agricultural crops or livestock breeding activities, in various combinations of space or time, thereby favoring the ecological and economic interactions between the timber-yielding and non timber-yielding components (Lundgren, 1987). In order that the juxtaposition of these may be beneficial, the entire system must yield profitable results, as the effects can be positive or negative. They are considered to relate in a complementary manner when the presence of one component increases the yield of another; neutral when no consequences are observed, and competitive when the presence of one component reduces the yield of another. The objective of this method is to identify and maximize favorable interactions.

Alleys are a modality that consists in establishing rows of trees in association with agricultural species. This concept was created to avoid the reduction of the soil's fertility, which is typical of migratory agriculture and has been traditionally solved with fallow practices. With this modality, both the area and the growth of the trees are simultaneously taken into account (Torquebiau, 1997). The premise of this work is that the technique of alley cropping contributes to control the loss of soil and to maintain the latter's physical properties, besides allowing the simultaneous production of timber and rain fed food crops; the objective was to assess the agricultural and forest components in two modules of allees established in two locations of the Purepecha Sierra in Michoacan.

## MATERIALS AND METHODS

Trees were planted in the study sites in association with annual agricultural and forage species in rain fed lands, as

## MATERIALES Y MÉTODOS

En los sitios estudiados se plantaron árboles en asociación con especies agrícolas y forrajeras anuales en terrenos de temporal, como alternativa para la recuperación del suelo. El primero se estableció en 1996, al este de la comunidad indígena de San Lorenzo, Uruapan; y el segundo en 1999, en Cheranástico, Paracho (Cuadro 1).

Cuadro 1. Información geográfica y topográfica de dos módulos agroforestales establecidos en la Sierra Purépecha, Michoacán.  
Table 1. Geographic and topographic information about two agroforestry modules established in the *Purépecha* Sierra in Michoacan.

Módulo	Comunidad	Municipio	Coordenadas geográficas	Altitud (m)	Exposición	Pendiente (%)
1	San Lorenzo	Uruapan	19° 31' 53" N 102° 05' 50" W	2 149	NW	5
2	Cheranástico	Paracho	19° 43' 4.3" N 102° 01' 29.5" W	2 293	NE	4

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1973) en la comunidad de San Lorenzo, el clima es C (w<sub>2</sub>) b (e) g, que corresponde al templado con verano largo y fresco, el más húmedo de los subhúmedos, con régimen de lluvias en verano y sequía interestival, temperatura media anual de 15 °C, precipitación promedio anual de 1 600 mm. En la comunidad de Cheranástico, el clima es C (w<sub>2</sub>) b (i) g, templado con lluvias en verano, temperatura media anual de 14 °C, precipitación promedio anual de 1 650 mm (Muñoz *et al.*, 2012).

En ambos lugares, los suelos son del tipo Andosol, de color negro y pardo rojizo, muy ligeros, con espacios porosos muy abundantes; caracterizados en su porción mineral por alófanos, materiales amorfos de alta capacidad de intercambio catiónico y alta retención de fósforo, baja saturación de bases, con un contenido moderado de calcio, sodio y magnesio y alto en potasio; la textura dominante es de migajón y arcillosa, por lo que tienen permeabilidad media y drenaje moderado (Detenal, 1974). En el área circundante, la vegetación predominante es bosque natural de pino - encino, en el que predominan las especies: *Pinus leiophylla* Schiede *et* Deppe, *Pinus devoniana* Lindl., *Pinus pseudostrobus* Lindl., *Pinus montezumae* Lamb., *Quercus rugosa* Née, *Quercus laurina* Humb *et* Bonpl., *Quercus scytophylla* Liebm., *Crataegus pubescens* Kunth (Steud.), *Prunus serotina* ssp. *capuli* (Cav.) McVaugh, *Alnus jorullensis* Kunth subsp. *lutea* Furlow, *Arbutus xalapensis* Kunth, *Clethra mexicana* DC. y *Ternstroemia pringlei* (Rose) Standl. (Bello, 1993).

an alternative for the recuperation of the soil. The first was established in 1996, east of the indigenous community of San Lorenzo, Uruapan, and the second, in 1999, in Cheranástico, Paracho (Table 1).

According to Köppen's classification modified by García (1973), in the community of San Lorenzo the climate is C (w<sub>2</sub>) b (e) g, that is, temperate with a long, cool summer, the most humid

among subhumid, with rains in the summer and the summer dry periods, an annual mean temperature of 15 °C, and an annual average precipitation of 1 600 mm. In the community of Cheranástico the climate is C (w<sub>2</sub>) b (i) g, temperate with summer rains, an annual mean temperature of 14 °C and an annual average precipitation of 1 650 m (Muñoz *et al.*, 2012).

In both locations, the soils are andosols of a black and reddish brown hue, very light, with very abundant porous spaces; their mineral portions are characterized by allophanes, amorphous materials with a high cation exchange capacity and a high phosphorus retention, a low base saturation, a moderate content of calcium sodium and magnesium and a high content of potassium; the dominant texture is clayey and similar to that of bread crumb, and therefore it has a medium permeability and moderate drainage (Detenal, 1974). In the surrounding area, the prevailing vegetation is a natural pine and holm oak forest where the dominant species are *Pinus leiophylla* Schiede *et* Deppe, *Pinus devoniana* Lindl., *Pinus pseudostrobus* Lindl., *Pinus montezumae* Lamb., *Quercus rugosa* Née, *Quercus laurina* Humb *et* Bonpl., *Quercus scytophylla* Liebm., *Crataegus pubescens* Kunth (Steud.), *Prunus serotina* ssp. *capuli* (Cav.) McVaugh, *Alnus jorullensis* Kunth subsp. *lutea* Furlow, *Arbutus xalapensis* Kunth, *Clethra mexicana* DC. and *Ternstroemia pringlei* (Rose) Standl. (Bello, 1993).

The modules are located in the hydrologic basin of the Balsas river, in the 18<sup>th</sup> Hydrological Region and in the sub-basin of the *Cupatitzio* river; this does not contain rain currents or permanent springs but only temporary streams (Enciclopedia de municipios de Michoacán, 2000). The cultivated forest species were *P. pseudostrobus* and *Pinus greggii* Engelm. ex Parl., and four different spacings were used; the agricultural crops sown were beans, fava beans, oats, squashes and corn (Table 2).



Los módulos se localizan en la cuenca hidrológica del río Balsas, Región Hidrológica RH- 18 y subcuenca río Cupatitzio, en ella no existen corrientes pluviales ni manantiales permanentes, únicamente arroyos temporales (Enciclopedia de municipios de Michoacán, 2000). Las especies forestales cultivadas fueron *P. pseudostrabus* y *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. y se utilizaron cuatro espaciamientos; respecto a los cultivos agrícolas se sembraron: frijol, haba, avena, calabacita y maíz (Cuadro 2).

## Origin of the seeds of the forest individuals

The *Pinus greggii* germplasm came from Jacala, Hidalgo, and that of *P. pseudostrabus*, from natural stands of the *Purépecha* Sierra.



Cuadro 2. Componentes agrícolas y forestales evaluados en los módulos agroforestales establecidos en la Sierra *Purépecha*, Michoacán. Table 2. Agricultural and forest components evaluated in the agroforestry modules established in the *Purépecha* Sierra of Michoacan.

Módulo	Año de establecimiento	Componentes			
			Forestal		Agrícola
			Espaciamiento (m)	Densidad (árboles ha <sup>-1</sup> )	Cultivo
San Lorenzo	1996	<i>Pinus pseudostrabus</i> Lindl.	2.5 x 2.5	1 600	Haba y calabacita
		<i>Pinus greggii</i> Engelm. ex Parl.	2.5 x 3.2	1 250	Avena
Cheranástico	1999	<i>Pinus greggii</i> Engelm. ex Parl.	2.0 x 4.0	1 250	Haba y frijol
			2.5 x 4.0	1 000	Maíz

## Procedencia de las semillas de los individuos forestales

El germoplasma de *Pinus greggii* provino de Jacala, Hidalgo y el de *P. pseudostrabus*, de rodales naturales de la Sierra *Purépecha*. La propagación se llevó a cabo en el vivero "El Copal", para la primera especie se utilizaron contenedores de poliestireno expandido del tipo *Copper Block* con una capacidad de 77 celdas y 165 cc, y para la segunda se usaron bolsas de polietileno de 10 x 20 cm; las plántulas se establecieron durante la temporada de lluvias (julio) con una altura promedio de 26 cm.

The propagation took place at the *El Copal* nursery. Copper Block styrofoam containers with a capacity for 77 cells and 165 cc were used for the first species, and 10 x 20 cm polyethylene bags we used for the second; the seedlings were established during the rainy season (in July) with an average height of 26 cm.

## Procedencia de las semillas de los cultivos

La semilla de avena variedad Chihuahua y de calabacita se adquirieron en un negocio de venta de semillas en Uruapan, mientras que las de maíz, haba y frijol pertenecían a los dueños de los predios. En ambas localidades se preparó el terreno mediante la eliminación de hierbas y arbustos, posteriormente se realizó un barbecho con tractor a 30 cm de profundidad.

## Origin of the crop seeds

Oats seeds of the *Chihuahua* variety and squash seeds were acquired at a seed store in Uruapan, while the corn, bean and fava bean seeds belonged to the owners of the plots. In both locations the land was prepared by removing the weeds and shrubs; it was then plowed with 30 cm deep furrows using a tractor.

## Diseño de la plantación de las especies forestales

En San Lorenzo, la plantación forestal fue de *P. pseudostrabus* y *P. greggii*, con las especies intercaladas en filas de manera continua, con espaciamientos de 2.5 x 2.5 y 2.5 x 3.2 m. En Cheranástico se utilizó el diseño de bloques al azar con dos configuraciones: 2.0 x 4.0 m y 2.5 x 4.0 m y seis repeticiones.

## Design of the forest species plantation

In *San Lorenzo*, the forest plantation consisted of *P. pseudostrabus* and *P. greggii* in continuous alternating rows, with 2.5 x 2.5 and 2.5 x 3.2 m spacings. In *Cheranástico* the design of random blocks with two configurations -2.0 x 4.0 m y 2.5 x 4.0 m- and six repetitions was utilized.

## Field data recording

In *San Lorenzo*, the forest individuals were measured at 1, 12, 36, 40, 50, 54, 60, 80, 108 and 132 months, and the agricultural component was assessed in the 1999 and 2000 cycles; in *Cheranástico*, dasometric data were collected at 1, 4, 19, 23, 48, 72 and 84 months, and the agricultural data were obtained during the same period as in the first module.



## Registro de datos de campo

En San Lorenzo se realizaron las mediciones de los individuos forestales a: 1, 12, 36, 40, 50, 54, 60, 80, 108 y 132 meses, y en cuanto al componente agrícola se hicieron evaluaciones en los ciclos 1999 y 2000; en Cheranástico los datos dasonométricos se tomaron a los 1, 4, 19, 23, 48, 72 y 84 meses y los agrícolas en el mismo periodo que en el primer módulo.

## VARIABLES CONSIDERADAS

**Componente forestal.** Se evaluaron la altura total (de forma directa para cada árbol con un clinómetro Suunto); el diámetro normal, con una forcípula, se usaron dos medidas cruzadas para obtener el promedio, a la altura de 1.30 m; la supervivencia, mediante el conteo directo de los árboles en los espaciamientos, para el análisis estadístico se consideró el número de árboles vivos y para fines comparativos se expresó en porcentaje; la sanidad, se registraron los daños ocasionados por fauna silvestre y patógenos que ponen en riesgo al árbol y se tomó en cuenta el número de árboles afectados; el vigor, el diámetro, la altura, el fuste, la copa, la sanidad y el color de las hojas y se hizo una clasificación en dos niveles: a) vigorosos, con árboles dominantes que sobresalen por su porte y cuya altura es superior a la de los demás, o un tamaño superior al promedio con buena conformación; y b) no vigorosos, árboles intermedios o menores con características similares a la mayoría del arbolado, por debajo del nivel de los otros. Además se calculó el volumen con la siguiente ecuación:

$$V = D^2 \times h \times 0.7854 \times 0.6$$

Donde:

- V= Volumen (m<sup>3</sup>)
- D= Diámetro normal (m)
- h= Altura (m)
- 0.6 = Coeficiente mórfico

**Componente agrícola.** Se llevó a cabo una evaluación anual en parcelas de 1 m<sup>2</sup>, con el fin de estimar la densidad, la superficie cultivada, la cantidad de plantas por hectárea y el rendimiento (t ha<sup>-1</sup>). Para el caso del maíz, en los surcos se emplearon transectos de 10 m de longitud para determinar el número de individuos por hectárea, además se obtuvieron el peso fresco y seco. Los datos se capturaron en una hoja de Excel para calcular los promedios por parcela; para la supervivencia se consideró el cociente entre el número de árboles vivos y el total de los árboles iniciales, multiplicado por 100, para expresar el resultado en porcentaje; respecto a la sanidad y el vigor, se cuantificaron los ejemplares sanos y no sanos, así como vigorosos y no vigorosos y se expresaron los resultados en porcentaje.

## VARIABLES CONSIDERADAS

**Forest component.** The assessed characteristics were: total height (directly for each tree, with a Suunto clinometer); a caliper and two crossed measures were utilized to obtain the mean normal diameter at the height of 1.30 m; survival rate, calculated through the direct count of the trees in the spacings (the statistical analysis estimates this rate based on the number of living trees, while for purposes of comparison, it is expressed as a percentage); health: the damage caused by wild animals and pathogens hazardous to the trees was registered, and the number of affected trees was taken into account; vigor: diameter, height, stem, canopy, health and leaf color were recorded, and the trees were classified in two categories: a) vigorous, with dominant trees that stand out for their shape, with a height above that of others or a larger size than the average and a good structure, and b) not vigorous, medium sized or smaller trees with similar characteristics to those of most trees, below the level of the rest. Besides, the volume was estimated using this equation:

$$V = D^2 \times h \times 0.7854 \times 0.6$$

Where:

- V= Volume (m<sup>3</sup>)
- D= Normal diameter (m)
- h= Height (m)
- 0.6 = Morhic coefficient

**Agricultural component.** An annual evaluation was carried out by 1 m<sup>2</sup> plots in order to estimate the density, the cultivated surface, the number of plants per hectare and the yield (t ha<sup>-1</sup>). In the case of corn, 10 m long transects were used in the furrows to estimate the number of plants per hectare; besides, the fresh and dry weights were determined. The data were captured in an Excel spreadsheet in order to calculate the averages per parcel; the survival rate was obtained from the quotient between the number of living trees and the total baseline number of trees multiplied by 100 so that the result could be expressed as a percentage; as for the health status and vigor, the healthy and unhealthy, vigorous and not vigorous individuals were quantified, and the results were expressed in terms of percentages.

The data were subjected to a statistical analysis using the paired observations test, with *t* as testing statistic and a significance level of 0.05 %. A *t* value with *n-1* degrees of freedom was utilized for the tables. It was determined that the null hypothesis was to be rejected if the estimated *t* value was higher than the *t* value of the tables, since the population means would be significantly different.



Los datos se sometieron a un análisis estadístico, con la prueba de observaciones apareadas con  $t$  como estadístico de prueba y un nivel de significancia de 0.05 %. Se usó un valor de  $t$  de tablas con  $n-1$  grados de libertad. Se definió que si el valor de  $t$  calculado era mayor al de  $t$  de tablas, se rechazaba la hipótesis nula, ya que las medias poblacionales serían significativamente diferentes.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Componente forestal

En el Cuadro 3 se muestran los resultados de los módulos de San Lorenzo y de Cheranástico.

Cuadro 3. Promedio de las variables del componente forestal en los módulos agroforestales establecidos en San Lorenzo (11 años) y Cheranástico (8 años) en la Sierra Purépecha, Michoacán.

Table 3. Mean variables of the forest component in the agroforestry modules established in *San Lorenzo* (11 years) and *Cheranástico* (8 years), in the *Purépecha* Sierra of Michoacan.

Variable	Módulo San Lorenzo		Módulo Cheranástico			
	Componentes forestales					
	<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.		<i>Pinus greggii</i> Engelm. ex Parl.		<i>Pinus greggii</i> Engelm. ex Parl.	
	2.5 x 2.5 (m)	2.5 x 3.2 (m)	2.5 x 2.5 (m)	2.5 x 3.2 (m)	2.0 x 4.0 (m)	2.5 x 4.0 (m)
Altura total (m)	11.44	11.44	11.45	11.82	7.79	7.88
Diámetro normal (cm)	20.56	21.79	20.07	21.41	16.00	18.47
Volumen total (m <sup>3</sup> )	0.23	0.25	0.26	0.25	0.10	0.15
Supervivencia (%)	58	57	55	56	63	52
Sanidad (%)	83.00	84.00	82.00	81.00	89.00	87.00
Vigor (%)	75.00	76.00	74.00	77.00	59.00	61.00

El análisis estadístico mediante la prueba de observaciones apareadas con  $t$ , a un nivel significativo del 0.05 %, para el módulo de San Lorenzo no mostró diferencias significativas entre los espaciamientos en la altura total, el diámetro normal, el volumen total, supervivencia, sanidad y vigor; ya que el valor de  $t$  calculado resultó menor que el de tablas, en conclusión se rechaza la hipótesis nula al nivel significativo de 5 %, es decir que para las especies de *P. greggii* y *P. pseudostrobus* los espaciamientos evaluados presentan alta uniformidad en esta localidad (Cuadro 4).

## RESULTS AND DISCUSSION

### Componente forestal

Table 3 shows the results of the *San Lorenzo* and *Cheranástico* models.

The statistical analysis by means of the paired observations test with  $t$  at a significance level of 0.05 % for the *San Lorenzo* module showed no significant differences between spacings in terms of total height, normal diameter, total volume, survival rate, health and vigor, since the estimated  $t$  value turned out to be lower than that of the tables. In short, the null hypothesis

was rejected at a significance level of 5 %, i.e. in this location the assessed spacings for *P. greggii* and *P. pseudostrobus* show a high level of uniformity (Table 4).

Height by agroforestry module. In *San Lorenzo*, the height of both species is lower than the  $t$  value of the tables (2.645) with a significance level of 0.05 %, which indicates that there were no significant differences between the spacings (tables 3 and 4). In the *Cheranástico* module, the analysis of the average heights evidenced that the estimated  $t$  value was lower than the  $t$  value of the tables, with a significance level of 0.05 %, and therefore there were no significant variations for *P. greggii* in relation to the spatial configuration. *P. greggii* showed a good growth in both locations in spite of being an introduced species, which agrees with the findings published by García (1996), according to whom this species is characterized by a rapid growth in the *Purépecha* Sierra; this also coincides with the growth registered in the region for *P. pseudostrobus* (García 1996b).



Cuadro 4. Observaciones apareadas en dos módulos agroforestales establecidos en la Sierra Purépecha, Michoacán.  
Table 4. Paired observations in two agroforestry modules established in the Purépecha Sierra of Michoacan.

Variable	Módulo San Lorenzo		Módulo Cheranástico			
	Componentes forestales					
	<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.		<i>Pinus greggii</i> Engelm. ex Parl.		<i>Pinus greggii</i> Engelm. ex Parl.	
	Significancia de <i>t</i>		Significancia de <i>t</i>		Significancia de <i>t</i>	
2.5 x 2.5	2.5 x 3.2	2.5 x 2.5	2.5 x 3.2	2.0 x 4.0	2.5 x 4.0 (m)	
Altura total (m)	0.008 NS		0.538 NS		0.451 NS	
Diámetro normal (cm)	1.439 NS		1.070 NS		3.93800 *	
Volumen total (m <sup>3</sup> )	1.008 NS		0.417 NS		2.638 NS	
Supervivencia (%)	1.901 NS		0.000 NS		0.955 NS	
Sanidad (%)	1.901 NS		0.794 NS		1.279 NS	
Vigor (%)	0.817 NS		1.921 NS		1.132 NS	

\*= Significativo con un nivel del 0.05 %, NS= No significativo; *t* de tablas= 2.645.

\*= Significant at a level of 0.05%, NS= Not significant; *t* value of the tables= 2.645.

Altura por módulo agroforestal. En San Lorenzo, la altura de ambas especies es menor que el valor de *t* de tablas (2.645) con una nivel de significancia de 0.05 %, lo cual indica que no existieron diferencias significativas entre los espaciamientos (cuadros 3 y 4). En el módulo de Cheranástico el análisis de las alturas promedio evidenció que el valor de *t* calculado fue menor que el *t* de tablas con un nivel significativo del 0.05 %, por lo tanto no hubo variaciones importantes para *P. greggii* con relación a la configuración espacial. Y mostró en ambos sitios buen crecimiento, a pesar de ser una especie introducida, lo que coincide con lo publicado por García (1996), quien señala que se caracteriza por su rápido crecimiento en la sierra Purépecha; esto también concuerda con el crecimiento que se registró en la región para el caso de *P. pseudostrobus* (García, 1996b).

Respecto al incremento medio anual en altura (IMAA) en San Lorenzo, *P. pseudostrobus* registró 1.04 m año<sup>-1</sup> y *P. greggii*, 1.07 m año<sup>-1</sup>, para ambos espaciamientos. En Cheranástico se presentó un IMAA de 0.97 m año<sup>-1</sup>. Los resultados de la primera especie se asemejan con lo documentado por García (1996a), quien evaluó cuatro taxa de pino en Capacuáro a los 5.8 años de edad y que obtuvo los mayores valores, en relación con *Pinus montezumae*, *P. douglasiana* Martínez y *P. leiophylla* Schltdl. et Cham. en todos los espaciamientos, con un IMAA de 1.00 m año<sup>-1</sup>.

Diámetro por módulo agroforestal. En San Lorenzo no hubo diferencias significativas entre los espaciamientos, ya que el valor de *t* calculado para *P. greggii* y *P. pseudostrobus* fue menor al *t* de tablas con un nivel de significancia 0.05 %. En el tratamiento 2.5 x 2.5 m *P. pseudostrobus* tuvo un promedio semejante al de 2.5 x 3.2 m (cuadros 3 y 4).

With respect to the mean annual increase in height (MAIH), in San Lorenzo, *P. pseudostrobus* registered 1.04 m year<sup>-1</sup>, and *P. greggii*, 1.07 m year<sup>-1</sup>, for both spacings. In Cheranástico there was a MAIH of 0.97 m year<sup>-1</sup>. The results of the first species are similar to those documented by García (1996 a), who assessed four pine taxa in Capacuáro at 5.8 years of age and obtained higher values in relation to *Pinus montezumae*, *P. douglasiana* Martínez and *P. leiophylla* Schltdl. et Cham. in all spacings, with a MAIH of 1.00 m year<sup>-1</sup>.

Diameter by agroforestry module. In San Lorenzo there were no significant differences between the spacings, since the estimated *t* value for *P. greggii* and *P. pseudostrobus* was lower than the *t* value of the tables, with a significance level of 0.05 %, which is indicative of significant differences, with a larger average diameter in the 2.5 x 4.0 m configuration (Tables 3 and 4). In the case of Cheranástico, this parameter showed a higher estimated *t* value than the *t* value of the tables, with a significance level of 0.05 %, which is indicative of significant differences, with a larger mean diameter in the 2.5 x 4.0 m configuration (Tables 3 and 4). These results show that spacing influences the growth of *P. greggii* (Table 4) and favors the diametric development of trees in agroforestry plantations with alley croppings.

It is worth noting that the growth of *P. greggii* was higher than that observed in *P. pseudostrobus*.

In the San Lorenzo module, the mean annual increase in diameter (MAID) for *P. pseudostrobus* was higher in the 2.5 x 3.2 m than in the 2.5 x 2.5 m arrangement, and for *P. greggii* the highest values were found in the 2.5 x 2.5 m spacing; in Cheranástico, the higher MAID was registered with the 2.5 x 4.0 m spacing.

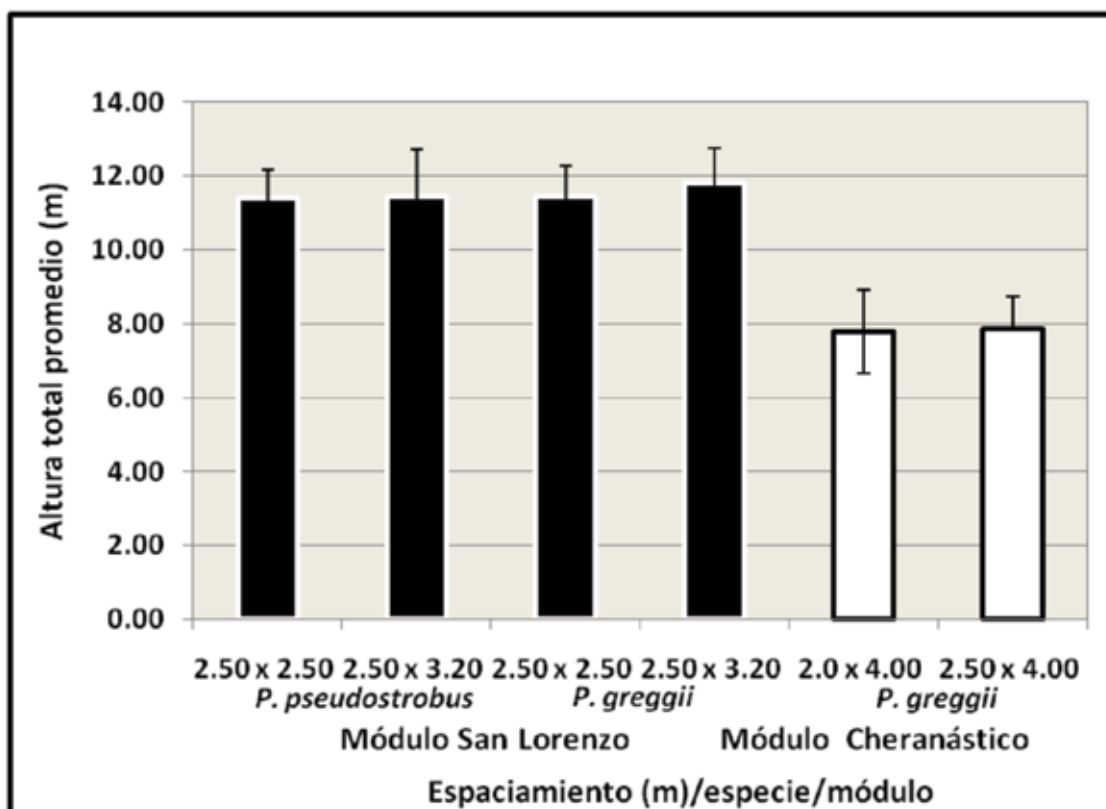


Figura 1. Promedios de la altura total en los módulos agroforestales de San Lorenzo (11 años) y Cheranástico (8 años) en la Sierra Purépecha, Michoacán.

Figure 1. Average total heights in the agroforestry modules of *San Lorenzo* (11 years) and *Cheranástico* (8 years) in the *Purépecha* Sierra of Michoacan.

En el caso de Cheranástico este parámetro mostró un valor calculado superior al  $t$  de tablas con un nivel significativo de 0.05 %, lo que indica que existen diferencias importantes, con un diámetro promedio mayor en la configuración 2.5 x 4.0 m (cuadros 3 y 4). Estos resultados denotan que el espaciamiento influye en el crecimiento de *P. greggii* (Cuadro 4) y favorece el desarrollo diamétrico de los árboles en plantaciones agroforestales con cultivo en callejones. Cabe señalar que el crecimiento de *P. greggii* fue superior al observado en *P. pseudostrabus*.

En el módulo San Lorenzo el incremento medio anual en diámetro (IMAD) para *P. pseudostrabus* fue mayor en la disposición 2.5 x 3.2 m, en comparación con el 2.5 x 2.5 m y para *P. greggii* los valores más grandes se presentaron en 2.5 x 2.5 m; en Cheranástico, el IMAD superior se registró con el espaciamiento de 2.5 x 4.0 m.

Volume by agroforestry module. No significant variations were determined in *San Lorenzo*, since the estimated  $t$  value was lower than the  $t$  value of the tables at a 0.05 % significance level. Equally, the estimated values for the two species had no significance (Table 4); similar results were obtained in the *Cheranástico* module (Table 4). In the first location, the average volume for *P. pseudostrabus* varied from 0.23 m<sup>3</sup> to 0.25 m<sup>3</sup> between treatments, and in the case of *P. greggii*, from 0.26 m<sup>3</sup> to 0.25 m<sup>3</sup>, while in *Cheranástico* the differences were of 0.10 m<sup>3</sup> to 0.15 m<sup>3</sup> (Table 3 and Figure 3).

In *San Lorenzo* the MAIV of *P. pseudostrabus* was estimated in 14.46 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> with the 2.5 x 2.5 m spacing and in 7.65 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> with the 2.5 x 3.2 m spacing. For *P. greggii* a MAIV of 8.83 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> was obtained for the first configuration, and 6.67 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> for the second.

In *Cheranástico*, the same parameter for *Pinus greggii* was 10.05 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> in the 2 x 4 m configuration and of, de 9.95 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> in the 2.5 x 4 m spacing. The results for *P. pseudostrabus* are similar to those obtained by Ureña (1992) in Gómez Farías, Jalisco, in a 13-year-old plantation of *P. douglasiana*, whose volume was estimated in 160.9 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, with





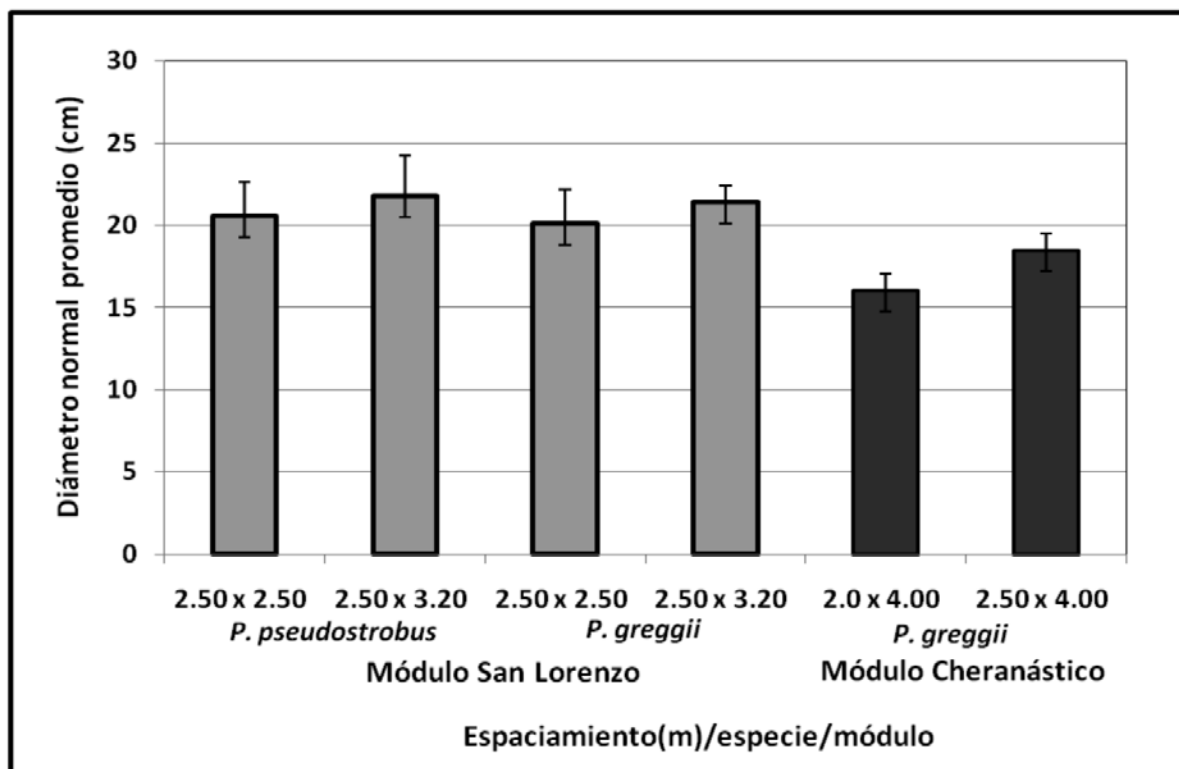


Figura 2. Promedios del diámetro normal en los módulos agroforestales de San Lorenzo (11 años) y Cheranástico (8 años) en la Sierra Purépecha, Michoacán.

Figure 2. Average normal diameters in the agroforestry modules of San Lorenzo (11 years) and Cheranástico (8 years) in the Purépecha Sierra of Michoacan.

Volumen por módulo agroforestal. En San Lorenzo no se determinaron variaciones importantes, ya que el valor de *t* que se calculó fue menor que el *t* de tablas al nivel significativo de 0.05 %; asimismo los valores calculados para las dos especies no tuvieron significancia (Cuadro 4); resultados similares se obtuvieron en el módulo de Cheranástico (Cuadro 4). En la primera localidad, el volumen promedio para *P. pseudostrobus* varió entre tratamientos de 0.23 a 0.25 m<sup>3</sup>; y en el caso de *P. greggii* de 0.26 m<sup>3</sup> a 0.25 m<sup>3</sup> y en Cheranástico las diferencias fueron de 0.10 m<sup>3</sup> a 0.15 m<sup>3</sup> (Cuadro 3 y Figura 3).

En San Lorenzo el IMAV de *P. pseudostrobus* se estimó en 14.46 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> con el espaciamiento de 2.5 x 2.5 m y 7.65 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en el de 2.5 x 3.2 m; para *P. greggii* se obtuvo un IMAV de 8.83 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para la primera configuración y 6.67 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para la segunda. En Cheranástico, el mismo parámetro para *Pinus greggii* fue de 10.05 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en 2 x 4 m y en el de 2.5 x 4 m, de 9.95 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Los resultados para *P. pseudostrobus* se asemejan a los obtenidos por Ureña (1992) en Gómez Farías, Jalisco, dentro de una plantación de *P. douglasiana* de 13 años, cuyo volumen se calculó en 160.9 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, con un IMAV de 12.34 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>; y también coincide con lo consignado por García (1996a), para dos sitios en la Sierra Purépecha con *P. pseudostrobus* y *P. montezumae* de 15 años

a MAIV of 12.34 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, and also agree with the results recorded by García (1996a) for two locations in the Purépecha Sierra with 15-year-old plantations of *P. pseudostrobus* and *P. montezumae* using 3 x 3 m spacings. For *P. pseudostrobus* he registered an accumulated volume of 232 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> and a MIV of 232 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, while for *P. Montezuma* he determined a volume of 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, with a MAIV of 13.2 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. The data recorded in this paper also agree with the results cited by García and Aguilar (1996) for *P. douglasiana*, *P. pseudostrobus*, *P. montezumae* and *P. leiophylla*, in a location of almost 10 years in Capacuaro, Michoacan. With a 2 x 2 m spacing, these authors estimated a volume of 210 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> for *P. douglasiana*, 185 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> for *P. montezumae*, 186 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> for *P. leiophylla*, and 186 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> for *P. pseudostrobus*.

Survival rates by agroforestry module. The number of living trees in San Lorenzo was lower for the estimated *t* value of both species than the *t* value of the tables, with a significance level of 0.05 %. Consequently, there are no significant differences between the treatments considered. The resulting survival rate was 26 and 39 % for *P. pseudostrobus* with 3.20 x 2.50 m and 2.50 x 2.50 m, respectively, while for *P. greggii* it was estimated in 23 % with both spacings (Table 3 and Figure 4). In Cheranástico, the estimated *t* value for *P. greggii* turned out to

de edad y espaciamientos de 3 x 3 m; quien registró un volumen acumulado para *P. pseudostrabus* de 232 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> y un IMAV de 15.3 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, mientras que para *P. montezumae* determinó 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, con un IMAV de 13.2 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Los registros del presente trabajo igualmente coinciden con lo citado por García y Aguilar (1996) para *P. douglasiana*, *P. pseudostrabus*, *P. montezumae* y *P. leiophylla*, en un sitio de casi 10 años de edad en Capacuáro, Mich. Estos autores con un espaciamiento de 2 x 2 m estimaron 210 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> para *P. douglasiana*, 185 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> para *P. montezumae*, 186 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> para *P. leiophylla*, y 155 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> para *P. pseudostrabus*.

be lower than the *t* value of the tables (2.645) with the same significance, which corroborates that the spacings do not affect this variable. The survival rate was 52 % for 2.5 x 4.0 M and 63 % for 2.0 x 4.0.

In San Lorenzo, *P. pseudostrabus* had a 57 % survival rate, which may be due to the fact that it is a native species well adapted to the ecological conditions of the region and characterized by having a rapid growth (García, 1996b); in Cheranástico, *P. greggii* had a survival rate of 63 %, which is an acceptable value if we take into account that it is an exotic species.

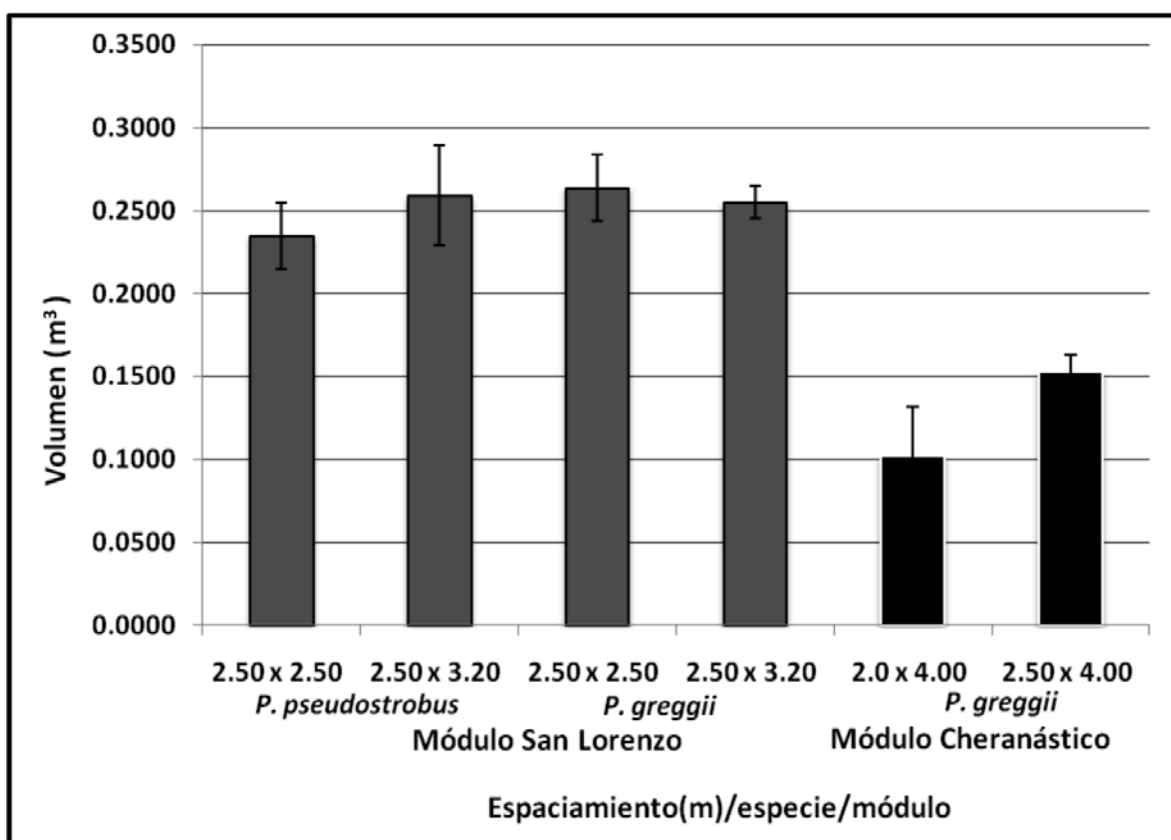


Figura 3. Comparación de promedios de la variable volumen total (m<sup>3</sup>) en los módulos agroforestales de San Lorenzo a 11 años y Cheranástico a ocho años de establecidos, en la Sierra Purépecha, Michoacán.

Figure 3. Compared average total volumes (m<sup>3</sup>) in the agroforestry modules of San Lorenzo, at 11 years, and Cheranástico, at 8 years, in the Purépecha Sierra of Michoacan.

Supervivencia por módulo agroforestal. En San Lorenzo, el número de árboles vivos fue menor para *t* calculada, en ambas especies, que el valor de *t* de tablas con un nivel significativo de 0.05 %; en consecuencia, no existen diferencias importantes entre los tratamientos considerados. El porcentaje de supervivencia obtenida fue de 26 y 39 % para *P. pseudostrabus* con 3.20 x 2.50 m y 2.50 x 2.50, respectivamente, mientras que para *P. greggii* se calculó en 23 %, en ambos casos (Cuadro 3 y Figura 4). En Cheranástico la *t* calculada para *P. greggii*

The survival of the trees was affected primarily by moles (*Geomys mexicanus* (Alston, 1880)) causing losses of up to 30 %, which were aggravated during the first years of the establishment. Other causes of mortality (10 %) were derived from mismanagement during the transplant, the lack of appropriate care at the time of planting, and other, unidentified factors. According to García and Aguilar (1996), the presence of moles is one of the main problems affecting forest plantations in the study area.

resultó menor que el valor de *t* de tablas (2,645) con la misma significancia, lo cual corrobora que los espaciamientos no afectan esta variable. La supervivencia fue de 52 % para 2.5 x 4.0 m. y 63 % para 2.0 x 4.0 m.

En San Lorenzo *P. pseudostrabus* tuvo 57 % de supervivencia, lo cual puede responder a que se trata de una especie nativa, bien adaptada a las condiciones ecológicas de la región y caracterizada por presentar rápido crecimiento (García, 1996b); en Cheranástico *P. greggii* presentó 63 %, valor aceptable, si se toma en cuenta que se trata de una especie exótica.

In the San Lorenzo module, the survival rate for the 2.50 x 2.50 m spacing was 58 %, with 928 *P. pseudostrabus* trees ha<sup>-1</sup>, and in Cheranástico, the best result (63 %) was obtained with a 2.0 x 4.0 spacing and 787 *P. greggii* trees ha<sup>-1</sup> (Figure 4). This corresponds to a difference of 1 % in favor of the 2.5 x 2.5 m spacing for *P. pseudostrabus* in the first location, while the difference for *P. greggii* in the second was 11 % in favor of the 2.0 x 4.0 m spacing. These results differ from those registered by García and Toledo (1993), who point out that, 5 years after its establishment, a *P. pseudostrabus* plantation on volcanic sand in Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacan, reached a survival rate of 80 % arranged in a spacing of 2 x 2 m,

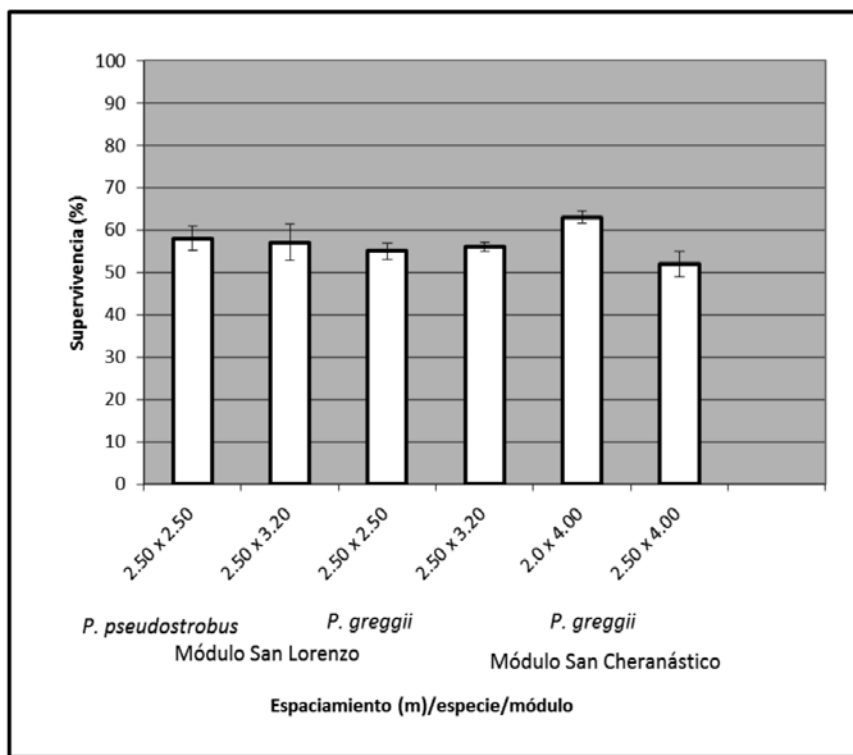


Figura 4. Supervivencia de *Pinus pseudostrabus* Lindl. y *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. en los módulos agroforestales de San Lorenzo (11 años) y Cheranástico (8 años) en la Sierra Purépecha, Michoacán.

Figure 4. Survival rates of *Pinus pseudostrabus* Lindl. and *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. in the agroforestry modules of San Lorenzo (11 years) and Cheranástico (8 years) in the Purépecha Sierra of Michoacan.

La supervivencia de los árboles fue afectada mayoritariamente, por tuzas (*Geomys mexicanus* (Alston, 1880), que causa pérdidas de hasta 30 %, las cuales se acentúan en los primeros años del establecimiento. Otras causas de mortalidad (10 %) se derivaron del mal manejo durante el trasplante, la falta de cuidados al momento de la plantación y otros factores no identificados. García y Aguilar (1996) registran que la presencia de tuzas es uno de los principales problemas que afectan las plantaciones forestales en la zona de estudio.

with 2 000 trees ha<sup>-1</sup>; 52 % using a 2.25 x 2.25 m spacing, with 1 053 trees ha<sup>-1</sup>; 71 % when planted at a 2.5 x 2.5 m spacing, with 1 136 trees ha<sup>-1</sup>, and 74 % using a spacing of 2.75 x 2.75 m, with 962 trees ha<sup>-1</sup>. However, they agree with the data cited by Ureña (1992) for a *P. douglasiana* plantation at 13 years of age in the municipality of Gómez Farías, Jal., with a 1.75 x 1.75 m spacing and a survival rate of 51 %.



En el módulo San Lorenzo el espaciamiento de 2.50 x 2.50 m obtuvo el porcentaje de supervivencia (58 %), con 928 árboles ha<sup>-1</sup> de *P. pseudostrubus* y en Cheranástico el mejor resultado se dio con 2.0 x 4.0 m (63 %) y 787 árboles ha<sup>-1</sup> para *P. greggii* (Figura 4). Esto corresponde a una diferencia de 1 % en favor de 2.5 x 2.5 m para *P. pseudostrubus* en el primer sitio, en el segundo *P. greggii* mostró una diferencia de 11 % en favor del espaciamiento 2.0 x 4.0 m. Lo anterior difiere de lo referido por García y Toledo (1993), quienes señalan que a cinco años de establecida una plantación de *P. pseudostrubus* sobre arenas volcánicas en Nuevo San Juan Parangaricutiro, Mich., la supervivencia alcanzó 80 % en el espaciamiento de 2 x 2 m, con 2 000 árboles ha<sup>-1</sup>; para el espaciamiento de 2.25 x 2.25 m fue de 52 %, con 1 053 árboles ha<sup>-1</sup>; en 2.5 x 2.5 m de 71 %, con 1 136 árboles ha<sup>-1</sup>; para 2.75 x 2.75 m fue de 74 %, con 962 árboles ha<sup>-1</sup>. Sin embargo, concuerdan con los registros citados por Ureña (1992) para una plantación de *P. douglasiana* a la edad de 13 años de edad en el municipio Gómez Farías, Jal., con un espaciamiento de 1.75 x 1.75 m, y supervivencia de 51 %.

En el módulo de San Lorenzo, a los 11 años de establecido la supervivencia promedio fue de 56 % y en el módulo de Cheranástico a los ocho años tuvo un valor de 57 %, estos resultados se consideran aceptables para las edades de ambos módulos.

Sanidad por módulo agroforestal. La calificación asignada fue buena, con un índice de 85 %; tanto en el caso de San Lorenzo (83 % de árboles sanos) como en el de Cheranástico (88 % individuos arbóreos sanos), la *t* calculada para las dos especies fue menor que el valor de *t* de tablas, con un nivel significativo de 0.05 %, por lo tanto, no se tuvieron diferencias significativas entre los espaciamientos (Cuadro 4 y Figura 5). Los daños que se identificaron fueron causados por fauna silvestre, plagas y enfermedades, entre ellos las ardillas (*Sciurus vulgaris* Linnaeus, 1758), la palomilla barrenadora (*Dioryctria* sp.) y la roya (*Cronatium* sp.) (Cuadro 5).

La fauna silvestre que afecta los árboles no causa su muerte; sino que generan daños en el fenotipo del arbolado en forma de grumos, resinosos o daños estructurales en ramillas, tallos o frutos.

Vigor por módulo agroforestal. En los dos módulos las especies presentaron un estado vigoroso, el valor de *t* calculado para los dos taxa fue menor que la *t* de tablas con un nivel significativo del 0.05, por lo tanto, se puede concluir que no hay diferencias relevantes entre los espaciamientos. El índice de vigor se estimó en 76 % para San Lorenzo y 60 % para Cheranástico. En el primer sitio se observó una variación de 16 % entre especies, que se asocia a que *P. pseudostrubus* es un taxón nativo, más adaptado y con mayor resistencia a plagas y enfermedades; en cambio, *P. greggii* es introducido y tuvo síntomas de ataque

In the San Lorenzo module, 11 years after its establishment, the average survival rate was 56 %, and 5 % in the Cheranástico module after 8 years. These results are considered to be acceptable for the ages of both modules.

Health status by agroforestry module. The assigned score was good, with an 85 % rate; both in the case of San Lorenzo (83 % of healthy trees) and in that of Cheranástico (88 % of healthy trees), the estimated *t* value for the two species was lower than the *t* value of the tables, with a significance level of 0.05 %; therefore, there were no significant differences between the spacings (Table 4 and Figure 5). The identified damages were caused by wild animals, pests and diseases, including squirrels (*Sciurus vulgaris* Linnaeus, 1758), borer moths (*Dioryctria* species) and rust (*Cronatium* species) (Table 5).

The wild animals that affect trees do not cause their death but damage the phenotype of the trees in the form of lumps, resinosis or structural damages in twigs, stems or fruits.

Vigor by agroforestry module. Both modules showed a vigorous state, the estimated *t* value for the two species was lower than the *t* value of the tables, with a significance level of 0.05%; therefore, it may be concluded that there are no relevant differences between the spacings. The vigor rate was estimated in 76 % for San Lorenzo and 60 % for Cheranástico. In the first location, a 16 % variation was observed between the species, associated to the fact that *P. pseudostrubus* is a native taxon, better adapted and with a higher resistance to pests and diseases; instead, *P. greggii* is an introduced species and had symptoms of attack by various agents. Although the age of the trees is subject to competition, this variable is not affected in terms of spacing; therefore, there has not been dominance among the fittest trees (Table 4 and Figure 6).

## Agricultural component

*San Lorenzo Module.* During the 1999 production cycle, oats (*Chihuahua* variety) and fava beans were sown. For the first, there was a seed density of 120 kg ha<sup>-1</sup> and a yield of 6.5 t ha<sup>-1</sup> of green weight; for the second species, the seeds were arranged in furrows at a distance of 50 cm and with 40 thousand plants ha<sup>-1</sup>. Germination occurred between days 7 and 8, and the flowering period, between days 65 and 70. This species was wrecked by the presence of frost during December (5 to 6 °C). In the year 2000 only oats were sown, with a yield of 2.8 t ha<sup>-1</sup> at the end of the period (Table 6); the reduction is associated to the shade of the trees, which covered most of the alleys and reduced the intensity of the light. This may be solved through thinning and prunings to minimize the tree canopy and increase the light in the subcanopy by approximately 40 to 50 % (Martínez and Chávez, 2007). Nevertheless, the oats crop associated to the trees surpassed the results obtained by Asteinza (1989), who assessed three varieties of this crop in

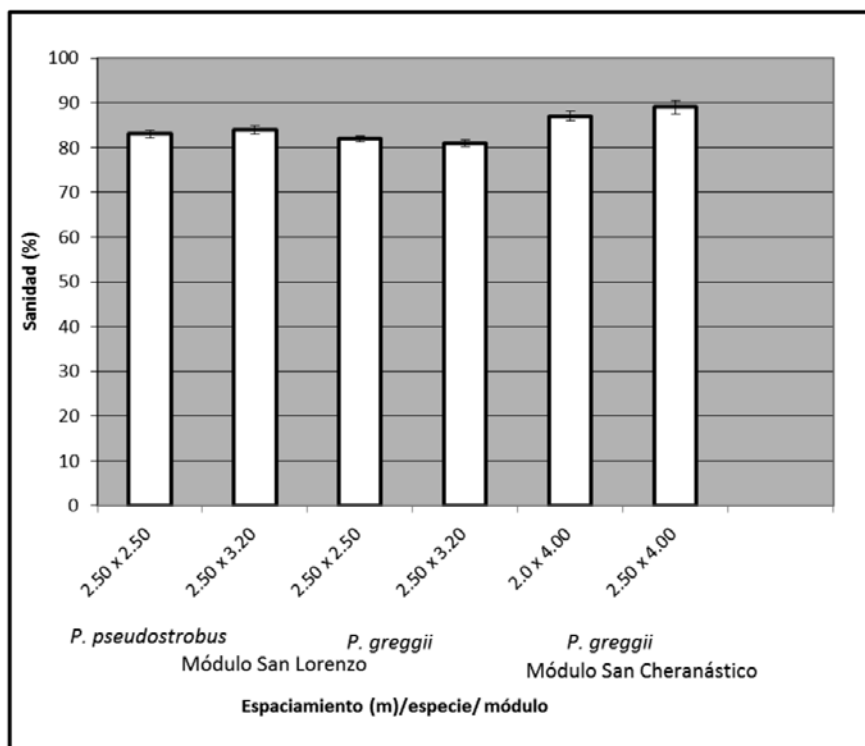


Figura 5. Porcentaje de sanidad de los árboles en los módulos agroforestales de San Lorenzo (11 años) y Cherañástico (8 años) en la Sierra Purépecha, Michoacán.  
 Figure 5. Health percentages of the trees in the agroforestry modules of San Lorenzo (11 years) and Cherañástico (8 years) in the Purépecha Sierra of Michoacan.

por diferentes agentes. La edad del arbolado, a pesar de ser sujeta de competencia, no afecta esta variable en función del espaciamiento, por lo cual, no hay dominancia entre los árboles más aptos (Cuadro 4 y Figura 6).

alleys with *P. montezumae* (at 23 years) and with a spacing of 4 x 4 m between the rows and trees and obtained a yield of 533 kg ha<sup>-1</sup> of oats of the *Páramo* variety when sown alone and of 430 kg ha<sup>-1</sup> using alley croppings.



*Cherañástico* Module. During the 1999 cycle, 2 068 m<sup>2</sup> of fava beans and 365 m<sup>2</sup> of beans were sown, with a density of 110 and 100 kg ha<sup>-1</sup>, respectively; germination occurred after 8 days; however, both crops were damaged by the frosts. During 2000, corn was utilized, with a yield of 1.92 t ha<sup>-1</sup> (Table 6), a value corresponding to the normal interval of the species in the *Purépecha* Sierra; it is therefore a good option to be used with agroforestry systems. This agrees with the results registered by Vélez and Becerra (2007) in five modules in Hidalgo, where

Cuadro 5. Porcentaje de afectación de los árboles en dos módulos agroforestales en la Sierra Purépecha, Michoacán.  
 Table 5. Damage per cent of trees in two agroforestry modules in the Purépecha Sierra, Michoacan.

Módulo Agroforestal	Componente Forestal	Afectación (%)		
		Ardilla	Palomilla	Roya
San Lorenzo	<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	1.0	4.5	2.4
	<i>Pinus greggii</i> Engelm. ex Parl.	0.9	3.1	1.3
Cherañástico	<i>Pinus greggii</i> Engelm. ex Parl.	2.0	5.0	2.0

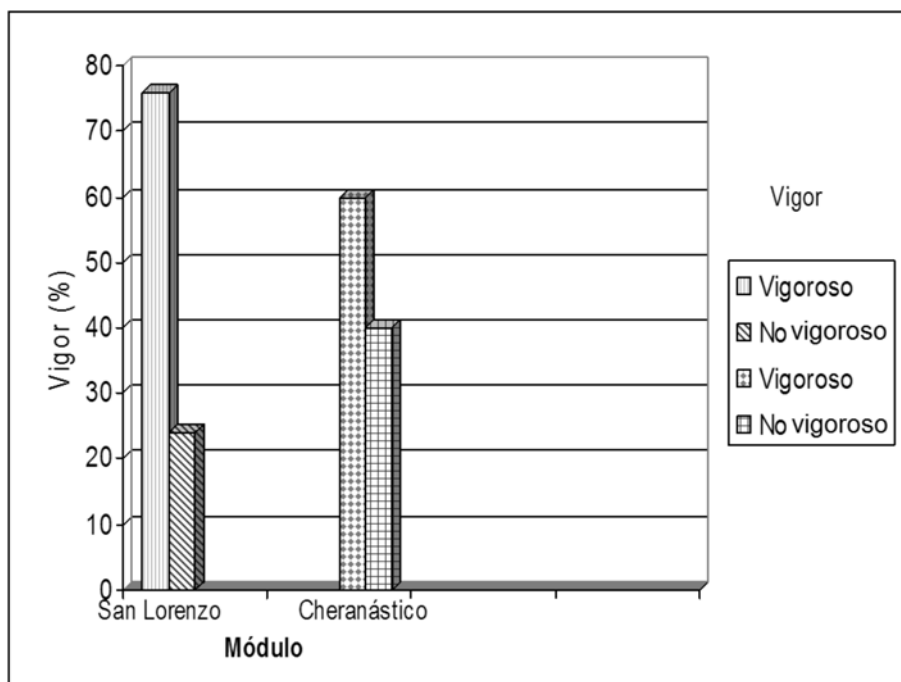


Figura 6. Porcentaje de vigor de los árboles en los módulos agroforestales de San Lorenzo (11 años) y Cheranástico (8 años) en la Sierra Purépecha, Michoacán.

Figure 6. Vigor percentage of the trees of the agroforestry modules of San Lorenzo (11 years) and Cheranástico (8 years) in the Purépecha Sierra of Michoacan.

### Componente agrícola

Módulo San Lorenzo. Durante el ciclo de producción de 1999 se sembraron avena (variedad Chihuahua) y haba. Para la primera hubo una densidad de semilla de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  y se obtuvo un rendimiento de  $6.5 \text{ t ha}^{-1}$  de peso verde; para la segunda especie, las semillas se acomodaron en surcos, a  $50 \text{ cm}$  de distancia y con  $40 \text{ mil plantas ha}^{-1}$ , la germinación ocurrió entre los 7 y 8 días y la floración a 65 y 70 días, dicha especie se siniestró por la presencia de heladas durante diciembre ( $5$  y  $6 \text{ }^\circ\text{C}$ ). En el año 2000 únicamente se utilizó avena, que produjo  $2.80 \text{ t ha}^{-1}$  al final del periodo (Cuadro 6); la disminución se asocia con la sombra de los árboles que cubrió gran parte de los callejones y redujo la intensidad lumínica. Esto podría solucionarse mediante aclareos y podas que minimicen la copa de los árboles y favorezcan una mayor entrada de luz, en aproximadamente  $40$  a  $50 \%$  (Martínez y Chávez, 2007). No obstante, el cultivo de avena asociado con el arbolado superó los resultados de Asteinza (1989), quien evaluó a tres variedades de ese cultivo en callejones con la especie *P. montezumae* (23 años) y un espaciamiento de  $4 \times 4 \text{ m}$  entre hileras y árboles, y obtuvo  $533 \text{ kg ha}^{-1}$  de avena variedad Páramo en solitario y  $430 \text{ kg ha}^{-1}$  mediante la técnica de callejones.

Módulo Cheranástico. En el ciclo 1999 se sembraron  $2 \text{ 068 m}^2$  de haba y  $365 \text{ m}^2$  de frijol, con una densidad de  $110$  y  $100 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente; la germinación se presentó a los 8 días,

corn was alternated and which generated larger amounts than elsewhere in the area: *Criollo* (Creole) yielded  $2.87 \text{ t ha}^{-1}$ ; *Niebla*,  $3.51 \text{ t ha}^{-1}$ , and *Promesa*,  $2.36 \text{ t ha}^{-1}$ ; on the other hand, according to Musálem (2003), in agroforestry modules with pruning and incorporation of biomass, the yield was  $1 \text{ 878 kg ha}^{-1}$ , and  $1 \text{ 508 kg ha}^{-1}$  without pruning with the Creole variety. Martínez and Chávez (2007) established two plots of forage corn in Mascota, Jalisco, under a canopy of pine and holm oak, which yielded  $40 \text{ t ha}^{-1}$  of green fodder. Martínez and Chávez (2007) established in Mascota, Jalisco, two plots of forage corn under a pine and holm oak canopy, which yielded  $40 \text{ t ha}^{-1}$  of green fodder.

The benefit cost ratio of oats was  $0.99/1.68$  in 1999 and  $0.43/0.72$  in 2000, and  $0.91/1.83$  for corn.

Asteinza and Rivera (1989) pointed out the good yield derived from the production of *Ojo de Cabra* and *Puebla* black beans under alley cropping conditions in an *Eucalyptus resinifera* Sm. Plantation in the State of Mexico. The first variety had a yield of  $824 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ , and the second, of  $1 \text{ 332 kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ . Musálem (2003), for his part, estimated that the yield of the seeds of the *Cajanus cajan* (L.) Huth tree in Veracruz was  $758$ ,  $896$  and  $1 \text{ 586 kg ha}^{-1}$  with pruning treatments, although the presence of low temperatures caused the death of many plants.



sin embargo, ambos cultivos presentaron afectaciones por heladas. Durante 2000 se utilizó maíz, con un rendimiento de 1.92 t ha<sup>-1</sup> (Cuadro 6), valor que corresponde a su intervalo normal en la Sierra Purépecha, por lo que es una buena opción para los sistemas agroforestales. Lo anterior coincide con lo consignado por Vélez y Becerra (2007) en cinco módulos de Hidalgo, en los que se intercaló maíz, y generaron cantidades superiores a las de la zona: Criollo 2.87 t ha<sup>-1</sup>, Niebla 3.51 t ha<sup>-1</sup> y Promesa 2.36 t ha<sup>-1</sup>; por su parte, Musálem (2003) en módulos agroforestales con poda e incorporación de biomasa obtuvo 1 878 kg ha<sup>-1</sup> y sin poda, 1 508 kg ha<sup>-1</sup> con la variedad Criolla. Martínez y Chávez (2007) establecieron dos parcelas en Mascota, Jalisco, de maíz forrajero bajo dosel de pino y encino, de las que resultaron 40 t ha<sup>-1</sup> de forraje verde.

La relación beneficio / costo de la avena fue 0.99/1.68 en 1999 y 0.43/0.72 en 2000 y para el maíz de 0.91/1.83.

Cuadro 6. Componente agrícola durante los ciclos 1999 y 2000 en dos módulos agroforestales en la Sierra Purépecha, Michoacán. Table 6. Agricultural components during the 1999 and 2000 cycles in two agroforestry modules in the Purépecha Sierra of Michoacan.

Módulo agroforestal	Ciclo de evaluación	Componente agrícola		Resultados
		Cultivo	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	Relación B/C
San Lorenzo	1999	Haba	*Siniestrado	-
		Avena	6.50	0.99/1.68
Cheranástico	1999	Haba	*Siniestrado	-
		Frijol	*Siniestrado	-
San Lorenzo	2000	Avena	2.80	0.43/0.72
Cheranástico	2000	Maíz	1.92	0.91/1.83

\*Durante 1999 se siniestraron los cultivos de haba y frijol por la presencia de heladas.

\*During 1999, the bean and fava bean crops were wrecked due to frost.

Asteinza y Rivera (1989) indicaron el buen rendimiento derivado de la producción de frijol Ojo de Cabra y Negro Puebla, en condiciones de labranza de conservación en callejones de una plantación de *Eucalyptus resinifera* Sm. en el Estado de México; la primera variedad tuvo una producción de 824 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y la segunda, de 1 332 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Musálem (2003) evaluó en Veracruz, el frijol de árbol (*Cajanus cajan* (L.) Huth), con una producción de 758, 896 y 1 586 kg ha<sup>-1</sup> en los tratamientos con poda, a pesar de que la presencia de bajas temperaturas ocasionaron la muerte de muchas plantas.

Durante el periodo en el que se realizó la presente investigación los factores adversos para la producción de cultivos fueron las heladas y para el componente arbóreo, las tuzas.

During the period in which the present research was carried out, the adverse factors for the production of the crops were the frosts, and for the tree component, the moles.



## CONCLUSIONS

No significant differences between the spacings assessed for the total height, normal diameter, total volumen, survival rate, health and vigor variables of the *Pinus pseudostrabus* and *P. gregggii* trees were registered in San Lorenzo with alley croppings. However, in the *Cheranástico* module, *Pinus gregggii* showed significant variations in normal diameter with the 2.5 x 4.0 m spacing.

The 2.5 x 4.0 m spacing is the most appropriate for the development of the trees in an agroforestry plantation in the *Purépecha* Sierra of Michoacan, with alley cropping.

Damages from pests, diseases and wild animals -including squirrels, moles, borer moths, and rust occurred; however, their low incidence did not transcend in the forest components. The survival rate of the trees was reduced as a consequence of the damage caused by moles.



## CONCLUSIONES

En el módulo de San Lorenzo no se registraron diferencias significativas entre los espaciamientos evaluados para las variables altura total, diámetro normal, volumen total, supervivencia, sanidad y vigor de los árboles de *Pinus pseudostrabus* y *P. greggii* con cultivo en callejones; sin embargo, en el de Cheranástico *Pinus greggii* mostró variaciones importantes en el diámetro normal con el espaciamiento 2.5 x 4.0 m.

El espaciamiento de 2.5 x 4.0 m es más apropiado para el desarrollo de los árboles en una plantación agroforestal en la Sierra Purépecha, con la práctica de cultivo en callejones.

Se presentaron daños por plagas, enfermedades y fauna silvestre, entre ellas la ardilla, la tuza, la palomilla barrenadora y la roya, aunque su baja incidencia no trascendió en los componentes forestales. El porcentaje de supervivencia de los árboles se redujo como consecuencia de los daños por tuzas.

El vigor, tanto de *P. pseudostrabus* como de *P. greggii* es aceptable, a pesar de que la primera es una especie nativa y la segunda es exótica.

En San Lorenzo el rendimiento de avena variedad Chihuahua para el ciclo 1999, fue bueno y para el 2000 disminuyó, a consecuencia de la sombra arbórea. En Cheranástico, la producción de maíz corresponde a los intervalos de producción establecidos para la zona.

The vigor of both *P. pseudostrabus* and *P. greggii* is acceptable, although the former is a native species, and the latter, an exotic one.

In San Lorenzo, the yield of oats of the Chihuahua variety for the 1999 cycle was good, but it decreased in 2000 due to the tree shade. In Cheranástico, the yield of corn corresponds to the production intervals established for the area.

*End of the English version*



## REFERENCIAS

- Asteinza B., G. 1989. Producción agroforestal de avena y cebada en áreas reforestadas con pino (*Pinus montezumae* Lamb.) sobre suelos someros parcialmente recuperados de la erosión. In: Memoria del Congreso Forestal Mexicano, Tomo. 2. SARH, INIFAP. Protimbos. Toluca, Edo. de Méx. México, pp. 800-803.
- Asteinza B., G. y A. E. Rivera H. 1989. Producción agroforestal de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus resinifera* Sm.) en suelos parcialmente recuperados de la erosión. In: Memoria del Congreso Forestal Mexicano, Tomo. 2. SARH, INIFAP. Protimbos. Toluca, Edo. de Méx., México, pp. 797-798.
- Bello G., M. A. 1993. Plantas útiles no maderables de la Sierra Purépecha, Michoacán, México. Folleto Técnico No.10. SARH, CIRPAC, INIFAP. Uruapan, Mich. México. 115 p.
- Dirección General de Estudios del Territorio Nacional (Detenal). 1974. Descripción de la leyenda de la carta edafológica Detenal. Secretaría de Programación y Presupuesto. Coordinación General de México. FAO/UNESCO. México, D.F. México. 104 p.
- Enciclopedia de los municipios de Michoacán. 2000. Centro Estatal de Desarrollo Municipal Gobierno del Estado de Michoacán. Instituto Nacional para el Federalismo y Desarrollo Municipal (Inafed) <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM16michoacan/index.html> (26 agosto de 2009).
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (adaptado a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía, UNAM. México, D.F. México. 246 p.
- García M., J. J. y M. Aguilar R. 1996. Comportamiento de cuatro especies de pino establecidos en cuatro espaciamientos en Capácuaro, Michoacán. SARH, INIFAP, CIRPAC. Folleto técnico N°. 6. Uruapan, Mich. México. 26 p.
- García M., J. J. y R. Toledo B. 1996. Ensayos de espaciamiento en *Pinus pseudostrabus* Lindl., establecidos en arenales de Nuevo San Juan Parangaricutiro. In: VI Reunión Científica y Técnica Forestal y Agropecuaria. SARH, CIRPAC-INIFAP. Uruapan, Mich. México. 89 p.
- García M., J. J. 1996a. Crecimiento de dos especies de pino establecidas en suelos andosoles cubiertos con arenas volcánicas. Folleto Técnico. Núm. 1. CIRPAC-INIFAP. Uruapan, Mich. México. 12 p.
- García M., J. J. 1996b. Coníferas promisorias para reforestaciones en la Sierra Purépecha. Agenda Técnica. Núm. 2. SAGAR, CIRPAC-INIFAP. Uruapan, Mich. México. 79 p.
- Lundgren B. 1987. ICRAF's first ten years. Agroforestry System. 5:197-217.
- Martínez D. M. y S. Chávez M. 2007. Establecimiento y evaluación de un sistema agroforestal para la reconversión de suelos bajo el dosel del bosque de encino y pino. In: VIII Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Capacitación, Investigación y Tecnología, factores fundamentales para el desarrollo forestal. Sociedad Mexicana de Recursos Forestales. UMSNH. Morelia. Mich. México. 8 p.
- Muñoz F., H. J., V. M. Coria A., J. J. García S., E. Velasco B. y G. Martínez G. 2012. Evaluación de una plantación de *Pinus greggii* Engelm., con dos espaciamientos. Rev. Méx. Cien. For. 3 (11):57-70.



- Musálem M., A. 2003. Sistemas agrosilvopastoriles. <http://www.ai.org.mx/conferenciamusálem.pdf#search='agroforesteria%20en%20mexico>. (15 de mayo de 2010).
- Musálem M., A. 2003. Una alternativa de desarrollo rural sustentable para el trópico mexicano. Sistemas agrosilvopastoriles. Ponencia de ingreso a la Academia de Ingeniería. [http://www.ai.org.mx/presentaciones/musalem/Agroforesteria\\_e\\_n\\_Mexico\\_archivos/frame.htm](http://www.ai.org.mx/presentaciones/musalem/Agroforesteria_e_n_Mexico_archivos/frame.htm). (3 de septiembre de 2010).
- Sáenz R., T. J., T. González J. A., M. Gallardo V., O. Jiménez, J. y L. Mendoza M. R. 2001. Alternativas agroforestales para la reconversión de suelos con vocación forestal. Rev. Nuestro Bosque: Pilar de desarrollo sustentable de los michoacanos. Comisión Forestal del Estado de Michoacán (Cofom). Morelia, Mich. México. pp. 8-11.
- Sáenz R., T. J., J. J. García M. y F. Vidales I. 2002. Los sistemas agroforestales una alternativa de producción para la recuperación de terrenos de vocación forestal. Ensayo Científico. Revista para la difusión de la Investigación Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez". Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo 16(8): 20-32.
- Torquebiau, E. 1997. Conceptos de Agroforestería: una introducción. In: Krishnamurthy, L. (coord.). Agroforestería para el ecodesarrollo. VI Curso Internacional de entrenamiento. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx., México. pp. 18-77.
- Vélez I., A. y L. Becerra F. 2007. La tecnología agroforestal. Árboles intercalados en cultivos anuales para rehabilitación y producción sustentable en Atotonilco El Grande, Hidalgo. In: VIII Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich. México. p. 1.



