

RADIACIÓN SOLAR Y CALIDAD DE PLANTA EN UNA PLANTACIÓN DE VARA DE PERLILLA (*Symphoricarpos microphyllus* H. B. K.)

SOLAR RADIATION AND SEEDLING QUALITY IN A VARA DE PERLILLA (*Symphoricarpos microphyllus* H.B.K.) PLANTATION

Concepción Mendoza-Bautista¹, Fortino García-Moreno¹, Dante A. Rodríguez-Trejo^{1*}, Salvador Castro-Zavala²

¹División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. 56230. Chapingo, Estado de México. (cmendoza_b@yahoo.com.mx), (f_garcia_m@yahoo.com.mx), (dantearturo@yahoo.com) ²Vivero Forestal San Luis Tlaxialtemalco, Gobierno de la Ciudad de México, Avenida año de Juárez 9700, Colonia. Quirino Mendoza, San Luis Tlaxialtemalco, Xochimilco, CP 16610. (salvadorcz@yahoo.com.mx).

RESUMEN

La vara de perlilla o rejagar (*Symphoricarpos microphyllus* H.B.K.) es un arbusto que prospera entre bosques de pino, encino y oyamel; con ella se elaboran artesanías navideñas y escobas de varas, para uso local y venta en ciudades. En este estudio se analizó el efecto de la radiación y calidad de planta en la supervivencia y crecimiento del arbusto, para su plantación comercial. En La Mesa, San José del Rincón, Estado de México, se estableció una plantación con dos calidades de planta: chica (20 a 35 cm) y grande (45 a 60 cm). De cada calidad se plantaron 450 arbustos de seis meses de edad, en tres condiciones (plantación de pino, bosque de encino y un testigo sin dosel arbóreo). El diseño experimental fue de bloques completos al azar. Se midieron variables morfológicas y se tomaron imágenes digitales hemisféricas para calcular la radiación solar con el programa Hemiview. La supervivencia promedio anual fue 96.4 % en ambas calidades de planta, y disminuyó ligeramente con el mayor nivel de sombra. Las variables morfológicas tuvieron valores mayores con 6000 MJ m² año⁻¹ de radiación solar total.

Palabras clave: biomasa, luz, plantación comercial, rejagar.

INTRODUCCIÓN

La vara perlilla, perlita o rejagar (*Symphoricarpos microphyllus* H.B.K.) es un componente arbustivo de los bosques de *Abies*, *Quercus* y *Pinus* (Rzedowski, 1979) que también se localiza en matorrales y pastizales. Este arbusto se usa para fabricar escobas rústicas, artesanías navideñas y en algunas

ABSTRACT

Vara de perlilla or rejagar (*Symphoricarpos microphyllus* H.B.K.) is a shrub that prospers among pine, oak and spruce forests; it is used in Christmas crafts and brooms, for local use and sale in cities. In this study, an analysis was made of the effect of radiation and seedling quality on the survival and growth of the shrub, for commercial plantation. In La Mesa, San José del Rincón, Estado de México, México, a plantation was established with two seedling qualities: small (20 to 35 cm) and large (45 to 60 cm). Of each quality, 450 shrubs were planted, of six months of age, under three conditions (pine plantation, oak forest and a control without tree canopy). The experimental design was complete randomized blocks. Morphological variables were measured and hemispherical digital images were taken to calculate solar radiation with the Hemiview program. Average annual survival was 96.4 % in both seedling qualities, and decreased slightly with the highest level of shade. The morphological variables presented higher values with 6000 MJ m⁻² year⁻¹ of total solar radiation.

Key words: biomass, light, commercial plantation, rejagar.

INTRODUCTION

Vara de perlilla, perlita or rejagar (*Symphoricarpos microphyllus* H.B.K.) is a shrub component of forests of *Abies*, *Quercus* and *Pinus* (Rzedowski, 1979), and is also found in shrublands and grasslands. This shrub is used to make rustic brooms, Christmas crafts and in some regions is cultivated for ornaments (Calderón and Rzedowski, 2001). In some regions its uncontrolled collection has diminished the natural populations and ecosystems of origin (Monroy *et al.*, 2007; Rivera

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: Abril, 2010. Aprobado: Enero, 2011.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 45: 235-243. 2011.

regiones se cultiva para ornato (Calderón y Rzedowski, 2001). En algunas regiones su recolección descontrolada ha disminuido las poblaciones naturales y los ecosistemas de origen (Monroy *et al.*, 2007 y Rivera *et al.*, 2008). Para solucionar este problema, se han realizado ensayos para multiplicar las plantas con semillas en el Vivero de San Luis Tlaxiátemalco, Distrito Federal, México; también se logró su propagación vegetativa, estableciendo incluso plantaciones productivas (Quintero *et al.*, 2008).

La planta de calidad posee atributos genéticos, morfológicos y fisiológicos para establecerse, crecer y desarrollarse vigorosamente en el sitio de la plantación. Para asegurar su persistencia en las plantaciones, se requiere establecimiento de organismos saludables, tamaño apropiado y balance adecuado de las biomasa aérea y subterránea. El control de la calidad en el vivero debe establecerse para alcanzar estándares morfológicos y fisiológicos, comprobables estadísticamente en el campo (Rodríguez, 2008).

Entre los indicadores morfológicos cuantitativos de calidad de planta destacan la altura, el diámetro, biomasa aérea y subterránea, índice de esbeltez (altura de planta entre el diámetro del cuello de la raíz), índice de Dickson (biomasa total entre la suma del coeficiente de esbeltez y la relación biomasa aérea entre la subterránea) (Johnson y Cline, 1990).

Bajo el dosel las plantas reciben radiación directa, difusa y abundante con longitudes de onda en la región azul, usada para la fotosíntesis (Smith *et al.*, 1997). Las plantas usan cerca de 50 % de la radiación solar difusa para fotosintetizar; por lo que la intensidad y calidad de la luz son factores que modulan el desarrollo vegetal. La vara de perilla crece bajo dosel pero el estudio de sus requerimientos particulares de luz ha sido limitado. Por ello, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la radiación solar y calidad de planta en la supervivencia e incremento de la vara de perilla. La hipótesis fue que los niveles intermedios de radiación propician aumentos en la supervivencia y biomasa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Una plantación de vara de perilla se estableció en la comunidad La Mesa, municipio San José del Rincón, Estado de México, en el Eje Neovolcánico que es un área con rocas ígneas extrusivas, suelos andosol húmico y órtico, clima templado subhúmedo con lluvias en verano, precipitación media anual de 903.6 mm y

et al., 2008). To solve this problem, assays have been carried out to multiply the plants with seeds at the San Luis Tlaxiátemalco forest nursery, Federal District, México. Its vegetative propagation was achieved, even establishing productive plantations (Quintero *et al.*, 2008).

The plant of quality possesses genetic, morphological and physiological attributes for its establishment, growth and vigorous development in the plantation site. To insure its persistence in the plantations, the establishment of healthy organisms is required, of appropriate size and adequate balance of the shoot and root biomass. Quality control in the nursery should be established to achieve morphological and physiological standards, statistically verifiable in the field (Rodríguez, 2008).

Among the quantitative morphological indicators of seedling quality are height, diameter, shoot and root biomass, slenderness coefficient (plant height divided by diameter of the root neck), Dickson index (total biomass divided by the sum of the slenderness coefficient and the shoot:root ratio) (Johnson and Cline, 1990).

Under the canopy the plants receive direct, diffuse and abundant radiation with wavelengths in the blue region, used for photosynthesis (Smith *et al.*, 1997). The plants use nearly 50 % of the diffuse solar radiation for photosynthesis; thus light intensity and quality are factors that modulate plant development. Vara de perilla grows under the canopy, but the study of its particular light requirements has been limited. Therefore, the objective of the present study was to evaluate the effect of solar radiation and seedling quality on survival and increment of the vara perilla. The hypothesis was that the intermediate radiation levels propitiate increases in survival and biomass.

MATERIALS AND METHODS

A vara de perilla plantation was established in the community La Mesa, municipality of San José del Rincón, Estado de México, in the Neovolcanic Axis, which is an area with extrusive igneous rocks, humic and orthic andosol soils, sub-humid temperate climate with rains in summer, mean annual rainfall of 903.6 mm and mean annual temperature of 12 °C (García, 1973; INEGI, 2000; Servicio Meteorológico Nacional, 2008).

The plant used was produced in a nursery in the same study area, in polyethylene bags. The first 3 d of July of 2007, 450 shrubs were selected, of six months of age, with 20 to

temperatura media anual de 12 °C (García, 1973; INEGI, 2000; Servicio Meteorológico Nacional, 2008).

La planta usada fue producida en un vivero, en la misma área de estudio, en bolsa de polietileno. Los primeros 3 d de julio de 2007 se seleccionaron 450 arbustos, de seis meses de edad, con 20 a 35 cm de longitud (planta chica), y 450 con 45 a 60 cm (planta grande). Los arbustos se plantaron en dos predios con exposición norte, con tres coberturas: 1) testigo, sin dosel arbóreo en un terreno para uso agrícola, con radiación solar total media de 8201 MJ m⁻² año⁻¹; 2) plantación de *Pinus pseudostrobus* Lindl. de seis años, 19° 34' 27" N y 100° 10' 24" O, y radiación solar total media de 7886 MJ m⁻² año⁻¹; 3) un encinar, 19° 34' 57" N y 100° 10' 30" O, a 2890 m, con 80 % de *Quercus laurina* Humb. & Bonpl. y 20 % con *Alnus jorullensis* Humb., Bonpl. & Kunth, con radiación solar total media de 2794 MJ m² año⁻¹.

El diseño experimental fue bloques completos al azar y se plantaron 150 arbustos de cada calidad, distribuidos en seis bloques con dos parcelas de 25 arbustos cada una. La distancia entre plantas fue 1 m por lado y 5 m entre bloques. La plantación se hizo con cepa común (40×40×40 cm), poda de raíz y corte del exceso sobresaliente del cepellón, al momento de plantar.

Un año después de establecida la plantación se eligieron al azar seis arbustos del centro de cada parcela, 12 por bloque. En ese lugar se tomaron 216 fotografías hemisféricas hacia el zenit, una semana antes de plantar (julio de 2007) y seis meses después (enero de 2008) con una cámara digital con lente hemisférica, nivelada y orientada al norte (Figura 1). Al establecer el experimento se midió diámetro de la estaca, altura, biomasa aérea, subterránea y total. La biomasa al momento de plantar se obtuvo de una muestra aleatoria de 25 plantas de cada calidad. Las muestras se deshidrataron en horno de secado a 70 °C. En julio de 2008, un año después de plantar, se registró la supervivencia, se midió la altura, diámetro, y biomasa aérea, subterránea y total.

35 cm length (small seedling), and 450 with 45 to 60 cm (large seedling). The shrubs were planted in two plots with northern exposure, with three covers: 1) control, without tree canopy in a plot for agricultural use, with mean total solar radiation of 8201 MJ m⁻² y⁻¹; 2) plantation of *Pinus pseudostrobus* Lindl. of six years, 19° 34' 27" W, and mean total solar radiation of 7886 MJ m⁻² y⁻¹; 3) an oak stand, 19° 34' 57" N and 100° 10' 30" W, at 2890 m, with 80 % of *Quercus laurina* Humb. & Bonpl. and 20 % with *Alnus jorullensis* Humb., Bonpl. & Kunth, with mean total solar radiation of 2794 MJ m⁻² y⁻¹.

The experimental design was complete randomized blocks and 150 shrubs of each quality were planted, distributed in six blocks with two plots of 25 shrubs each one. The distance between plants was 1 m per side and 5 m between blocks. The plantation was made in 40×40×40 cm holes, root pruning, and cutting the excess of the root ball at the moment of planting.

One year after the plantation was established, six shrubs were randomly selected from the center of each plot, 12 per block. In this spot 216 hemispherical photographs were taken toward the zenith one week before planting (July of 2007) and six months after planting (January of 2008) using a leveled digital camera with hemispherical lens, oriented to the north (Figure 1). When the experiment was established, the diameter of the stock was measured, along with height, shoot, root and total biomass. The biomass at the moment of planting was obtained from a random sample of 25 plants of each quality. The samples were dehydrated in a drying oven at 70 °C. In July of 2008, one year after planting, survival was registered and height, diameter, aboveground, underground and total biomass were measured. The biomass was obtained from the shrubs located in the sites from which the hemispherical photographs were obtained. The biomass was calculated after drying the plants in an oven at 70 °C.

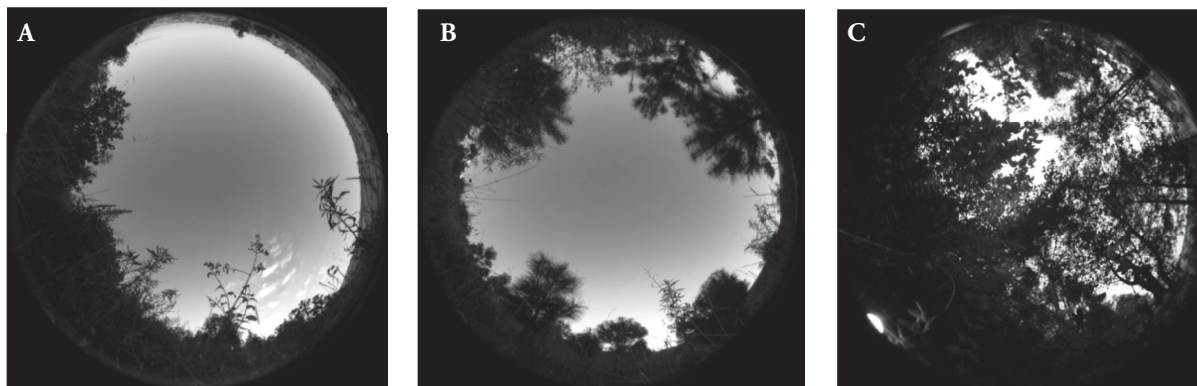


Figura 1. Imágenes hemisféricas en las condiciones: A) testigo, B) plantación de *Pinus pseudostrobus*, y C) bosque de *Quercus laurina* y *Alnus jorullensis*.

Figure 1. Hemispherical images under the conditions: A) control, B) plantation of *Pinus pseudostrobus*, and C) forest of *Quercus laurina* and *Alnus jorullensis*.

La biomasa se obtuvo de los arbustos enclavados en los sitios donde se obtuvieron las fotografías hemisféricas. La biomasa se calculó después de secar las plantas en horno a 70 °C.

Las fotografías se procesaron con el programa Hemiview® (Delta T. Co., 1998) y los datos de latitud, longitud, altitud y día juliano fueron registrados en el programa. Se cuantificó la radiación solar total directa y difusa ($\text{MJ m}^{-2} \text{año}^{-1}$), y la porción del cielo visible.

La relación de las variables morfológicas con dos tipos de radiación (promedio de las dos épocas de observación) fue examinada. Se efectuaron pruebas de t de Student con el programa SAS V. 9.0 (SAS Institute, 2002) para determinar diferencias entre las condiciones. Además, se realizó un análisis de varianza ($p \leq 0.05$) con el procedimiento GLM de SAS y la prueba de comparación de medias de diferencia mínima significativa ($p \leq 0.05$) para comparar las calidades de planta dentro de cada condición de radiación. El modelo estadístico fue:

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

donde, y_{ij} : respuesta de la variable dependiente al i-ésimo nivel del factor calidad de planta y al j-ésimo bloque; μ : media general; α_i : efecto del i-ésimo nivel del factor calidad de planta; β_j : efecto del j-ésimo bloque; ε_{ij} : error experimental.

Mediante regresión logística se predijo la probabilidad de mortalidad de los arbustos por tratamiento, se relacionó la mortalidad individual por parcela con sus valores de radiación solar, considerando las variables de radiación como efectos aleatorios (y niveles infinitos). Para ello se usó el programa Pezzullo (2008). El modelo de regresión logística, de acuerdo a Hosmer y Lemeshow (2000) es:

$$P = 1 / (1 + e^{-(\alpha_1 + \beta_1 X_1)}) \quad (2)$$

donde, p: probabilidad de mortalidad; e: base de los logaritmos naturales; α_1 : intercepto; β_1 : constante asociada a la variable independiente X_1 (nivel de radiación); X_1 : nivel de radiación ($\text{MJ m}^{-2} \text{año}^{-1}$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El intervalo de radiación entre los tratamientos fue 1329 (bosque de encino) a 9325 $\text{MJ m}^{-2} \text{año}^{-1}$ (testigo).

El diámetro inicial de la estaca al momento de plantar (4.9 mm en plantas chicas y 5.5 mm en plantas grandes) fue significativamente diferente entre calidades de planta y la diferencia se mantuvo después de un

The photographs were processed with the Hemiview® program (Delta T. Co., 1998) and the data of latitude, longitude, altitude and Julian day feed the program. In addition, direct and diffuse total solar radiation was quantified ($\text{MJ m}^{-2} \text{y}^{-1}$), as well as the portion of visible sky.

The relationship of the morphological variables with two types of radiation (average of the two observation periods) was examined. Student t tests were carried out with the program SAS V. 9.0 (SAS Institute, 2002) to determine differences among the conditions. Furthermore, an analysis of variance was made ($p \leq 0.05$) with the GLM procedure of SAS, as well as comparison of means with the least significant difference test ($p \leq 0.05$) to compare the seedling quality under each condition of radiation. The statistical model was as follows:

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

where y_{ij} is the response of the dependent variable at the i-th level of the seedling quality factor and the j-th block; μ : is the general mean; α_i : is the effect of the i-th level of the seedling quality factor; β_j : is the effect of the j-th block; ε_{ij} : is the experimental error.

Through logistic regression the likelihood of mortality of the shrubs was predicted per treatment. Individual mortality was related per plot with its values of solar radiation, considering the variables of radiation as random effects (and infinite levels). The program Pezzullo (2008) was used. The logistic regression model, according to Hosmer and Lemeshow (2000) is:

$$P = 1 / (1 + e^{-(\alpha_1 + \beta_1 X_1)}) \quad (2)$$

where p: likelihood of mortality; e: base of the natural logarithms; α_1 : intercept; β_1 : constant associated with the independent variable X_1 (radiation level); X_1 : radiation level ($\text{MJ m}^{-2} \text{year}^{-1}$).

RESULTS AND DISCUSSION

The radiation interval among the treatments was 1329 (oak forest) to 9325 $\text{MJ m}^{-2} \text{year}^{-1}$ (control).

The initial diameter of the cuttings at the moment of planting (4.9 mm in small plants and 5.5 mm in large plants) was significantly different among seedling qualities and the difference was maintained after one year in the field (5.7 mm and 7.3 mm in small and large seedlings). In species such as *Pinus palustris* Mill. the larger size corresponds to vigor (Hatchell and Muse, 1990), although the differences of the diameter among seedling qualities disappear

año en campo (5.7 mm y 7.3 mm en plantas chicas y grandes). En especies como *Pinus palustris* Mill. el mayor porte corresponde con el vigor (Hatchell y Muse, 1990), aunque las diferencias del diámetro entre calidades de planta desaparecen con el tiempo, como se observó luego de tres años en *Pinus hartwegii* Lindl. (Ortíz y Rodríguez, 2008). Las plantas en la plantación de pino alcanzaron el diámetro mayor (7.1 y 8.2 mm para planta chica y grande), lo que destacó el efecto positivo del nivel intermedio de la radiación solar en la vara de perlilla.

La relación de la biomasa aérea sobre la subterránea fue menor (1.7) en la planta chica y diferente ($p \leq 0.05$) que en la grande (2.7) al plantarlas. Este índice fue similar entre las dos calidades un año después (1.5 y 1.4; $p > 0.05$). El índice de esbeltez entre tamaños de planta (7.0 en la chica y 10.6 en la grande) fue diferente ($p \leq 0.05$) al plantar y fue similar un año después (8.6 y 9.1). Lo anterior mostró la tendencia a la uniformidad de ambos indicadores con el crecimiento.

El índice de Dickson de los arbustos al establecer la plantación fue diferente entre plantas chicas y grandes (0.3 y 0.4), un año después aumentó a 1.2 y 1.8 y se conservó la diferencia. Esto indica mayor acumulación de biomasa en la planta grande.

La supervivencia anual promedio fue 96.4 %, la mayor correspondió al testigo y bajo pino (99.7 y 98.7 %) y la menor bajo encino (91.0 %; $p \leq 0.05$). Además, la supervivencia de las dos calidades de planta fue similar (95.8 % y 97.1 % para las plantas chicas y grandes, $p > 0.05$).

Para los arbustos plantados bajo encinos la regresión logística, con todas las variables de radiación, fue significativa. Pero debido a la correlación entre los parámetros de la radiación, se usó sólo la total para obtener únicamente un modelo con la significancia mayor. El modelo logístico que predijo la probabilidad de mortalidad en la condición bosque de encino ($p \leq 0.0001$; razón de momios=0.998, intervalo de confianza al 95 % = 0.998 a 0.999), mostró que ésta se relacionó inversamente con la radiación total (Figura 2) según la expresión siguiente:

$$P = 1 / (1 + e^{-(1.4361 - 0.0016 X_1)}) \quad (3)$$

La tendencia se mantuvo significativa ($p < 0.0001$, razón de momios=0.999, intervalo de confianza al 95 % = 0.9992 a 0.9996) al incluir conjuntamente las tres condiciones (Figura 3), según la expresión:

with time, as was observed after three years in *Pinus hartwegii* Lindl. (Ortíz and Rodríguez, 2008). The seedlings in the pine plantation reached the largest diameter (7.1 and 8.2 mm for small and large seedlings), which emphasized the positive effect of the intermediate level of solar radiation on vara de perlilla.

The shoot:root ratio biomass was smaller (1.7) in the small seedling and different ($p \leq 0.05$) from the large seedling (2.7) when they were planted. This index was similar between the two qualities one year later (1.5 and 1.4; $p > 0.05$). The slenderness coefficient between the plant sizes (7.0 in the small plant and 10.6 in the large one) was different ($p \leq 0.05$) when planted and was similar one year later (8.6 and 9.1). The above showed the tendency of uniformity of both indicators with growth.

The Dickson index of the shrubs when the plantation was established was different between small and large seedlings (0.3 and 0.4), one year later it increased to 1.2 and 1.8 and the difference was conserved. This indicates greater accumulation of biomass in the large plant.

The average annual survival was 96.4 %, the highest corresponded to the control and under pine (99.7 and 98.7 %) and the lowest under oak (91.0 %, $p \leq 0.05$). Furthermore, survival of the two seedling qualities was similar (95.8 % and 97.1 % for the small and large seedlings, $p > 0.05$).

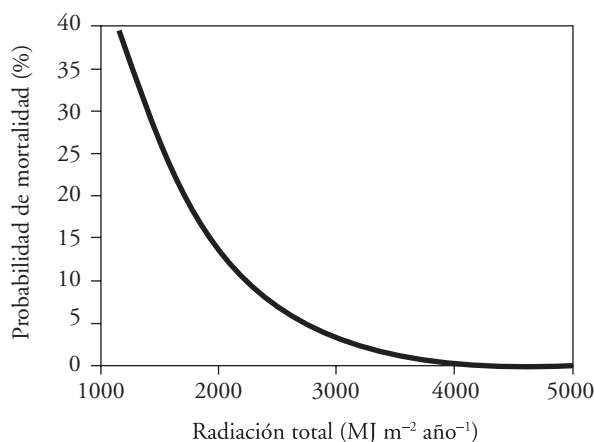


Figura 2. Probabilidad de mortalidad de *Symphoricarpos microphyllus* plantado en un encinar, con respecto a la radiación solar total.

Figure 2. Likelihood of mortality of *Symphoricarpos microphyllus* planted in an oak stand, with respect to total solar radiation.

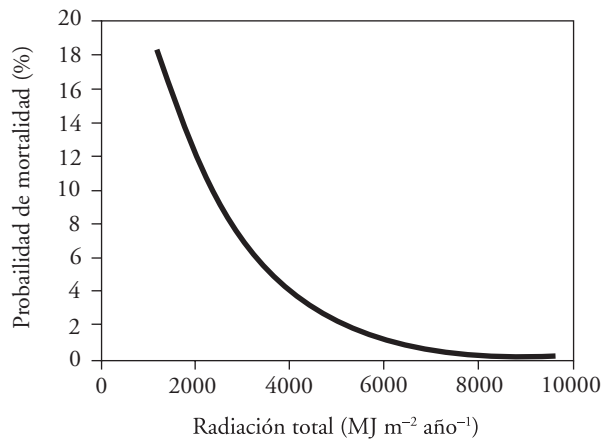


Figura 3. Probabilidad de mortalidad de *Symphoricarpos microphyllus* H.B.K. en plantaciones sin dosel arbóreo, con bosque de *Pinus pseudostrobus* y bosque de *Quercus laurina* y *Alnus jorullensis* respecto a la radiación solar total.

Figure 3. Likelihood of mortality of *Symphoricarpos microphyllus* H.B.K. in plantations without tree canopy, with forest of *Pinus pseudostrobus* and forest of *Quercus laurina* and *Alnus jorullensis* with respect to total solar radiation.

$$P = 1 / (1 + e^{-(0.7903 - 0.0006X_1)}) \quad (4)$$

La disminución de la mortalidad con el incremento de la radiación solar es opuesta a la observada por Hernández y Rodríguez (2008); quienes indican que en el primer año la plantación de vara de perlilla en un sitio con *S. microphyllus* la radiación solar estuvo directamente relacionada con la probabilidad de mortalidad. Sin embargo, sus resultados se obtuvieron en condiciones diferentes a las del presente estudio, de plantación tardía y humedad disponible baja al final de la temporada de lluvias.

Lo anterior mostró el efecto de la humedad en la supervivencia de la vara de perlilla. Sin limitación de humedad niveles altos de luz no afectan la supervivencia, pero con tensión hídrica hay mayor supervivencia bajo sombra. Similarmente, las especies de ambientes semiáridos o clima mediterráneo se benefician de la sombra. Al respecto, Benayas *et al.* (2002) señalan la mayor supervivencia de las plántulas de *Retama sphaerocarpa* (L.) Boiss. bajo sombra, en el centro de España.

La biomasa aérea entre calidades de planta en su establecimiento presentó una diferencia significativa (2.1 y 4.5 g en planta chica y grande) que se mantuvo un año después (10.6 y 17.6 g). El aumento mayor

For the shrubs planted under oaks, the logistic regression, with all the radiation variables, was significant. However, due to the correlation between the radiation parameters, only the total was used to obtain just one model with the higher significance. The logistic model that predicted the likelihood of mortality under the oak forest condition ($p \leq 0.0001$; odds ratio=0.998), confidence interval at 95 % = 0.998 to 0.999), showed that this was inversely related to the total radiation (Figure 2) according to the following expression:

$$P = 1 / (1 + e^{-(1.4361 - 0.0016 X_1)}) \quad (3)$$

The tendency remained significant ($p < 0.0001$, odds ratio=0.999, confidence interval at 95 % = 0.9992 to 0.9996) when jointly including the three conditions (Figure 3), according to the following expression:

$$P = 1 / (1 + e^{-(0.7903 - 0.0006 X_1)}) \quad (4)$$

The decrease in mortality with the increase in solar radiation is opposite to what was observed by Hernández and Rodríguez (2008), who indicate that in the first year, with the plantation of vara de perlilla in a site under pines, solar radiation was directly related to the likelihood of mortality. However, their results were obtained under conditions of late plantation and low available moisture at the end of the rainy season, different from those of the present study.

The above showed the effect of moisture on the survival of vara de perlilla. With no limitation of moisture, high levels of light did not affect survival, and under water stress there is greater survival under shade. Similarly, the species of semi-arid environments or Mediterranean climate benefit from shade. To this respect, Benayas *et al.* (2002) indicate higher survival of the seedlings of *Retama sphaerocarpa* (L.) Boiss, under shade, in central Spain.

The shoot biomass among seedling qualities in their establishment presented a significant difference (2.1 and 4.5 g in small and large seedlings) and was maintained one year later (10.6 and 17.6 g). The greatest increase occurred in the plantation under pine (15 g) and the lowest in the control (8.3 g).

The increase of shoot and root biomass in the large seedling of the oak stand, with less than 6000 MJ m⁻² y⁻¹, was directly related to the increase of total

ocurrió en la plantación bajo pino (15 g) y el menor en el testigo (8.3 g).

El aumento de las biomásas aérea y subterránea en la planta grande del encinar, con menos de 6000 MJ m⁻² año⁻¹, estuvo directamente relacionado con el aumento de la radiación total, pero con más de 6500 MJ m⁻² año⁻¹ este comportamiento se invirtió en la plantación de pino. La radiación total para que la biomasa aérea alcanzara sus valores mayores varió de 5000 a 7000 MJ m⁻² año⁻¹ (Figuras 4 y 5). Similarmente, Gardiner y Hodges (1998) señalan que niveles intermedios de luz maximizaron la biomasa total y la aérea de *Quercus pagoda* Raf. y, según Cameron *et al.* (2001), la radiación fotosintéticamente activa fue crucial para el crecimiento de plántulas de *Pinus strobus* L., pero con 50 % de ésta el crecimiento no se limita por la luz.

La biomasa subterránea de la planta grande se relacionó directamente con el incremento de la radiación total en el encinar, pero la relación se invirtió en la plantación de pino (Figura 5).

Los aumentos mayores de la biomasa total ocurrieron en la plantación bajo pinos y los menores en el bosque de encino (planta chica) y en el testigo (planta grande) (Cuadro 1). La biomasa total media de la planta chica bajo encinar fue diferente (t ; $p \leq 0.05$) respecto a la plantada bajo pinos. Así, los niveles intermedios de radiación solar favorecieron la

radiación, but with more than 6500 MJ m⁻² y⁻¹ this behavior was inverted in the pine plantation. Total radiation for the aboveground biomass to reach its highest values varied from 5000 to 7000 MJ m⁻² year⁻¹ (Figures 4 and 5). Similarly, Gardiner and Hodges (1998) indicate that the intermediate light levels maximized the total and shoot biomass of *Quercus pagoda* Raf., and according to Cameron *et al.* (2001), the photosynthetically active radiation was crucial for the growth of seedlings of *Pinus strobus* L., but with 50 %, growth was not limited by light.

The root biomass of the large seedling was directly related to the increase of total radiation in the oak stand, but the relationship was inverted in the pine plantation (Figure 5).

The highest increases of total biomass occurred in the plantation under pines and the lowest in the oak forest (small seedling) and in the control (large seedling) (Table 1). The mean total biomass of the small seedling under oak was different (t ; $p \leq 0.05$) with respect to that planted under pines. Thus, the intermediate solar radiation levels favored the formation of sprouts (Figure 6). In contrast, in dry tropical environments, *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit produces greater shoot and total biomass with solar radiation in gaps than under canopy, and the light favors the accumulation of biomass in the shoot more than in the root (Singh, 2008).

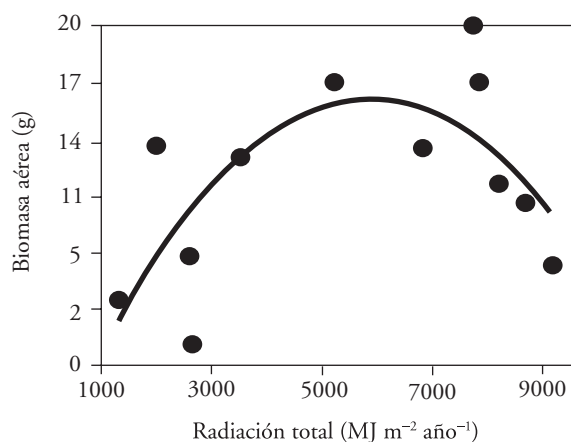


Figura 4. Biomasa aérea de la planta grande de *Symphoricarpos microphyllus* H.B.K. en bosque de encino y plantación de pino en dependencia de la radiación total.

Figure 4. Shoot biomass of the large plant of *Symphoricarpos microphyllus* H.B.K. in oak forest and pine plantation and in dependence of total radiation.

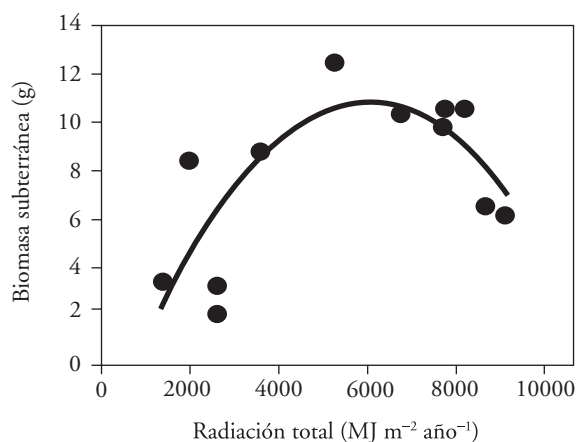


Figura 5. Biomasa subterránea de planta grande de *Symphoricarpos microphyllus* H.B.K., en plantación de pino y bosque de encino, dependiente de la radiación total.

Figure 5. Root biomass of large plant of *Symphoricarpos microphyllus* H.B.K., in pine plantation and oak forest, dependent on total radiation.

Cuadro 1. Biomasa total (g) de *Symphoricarpos microphyllus* H.B.K. inicial y un año después, por condición de cultivo y calidad de planta.**Table 1. Total biomass (g) of *Symphoricarpos microphyllus* H.B.K., initial and one year later, per crop condition and seedling quality.**

Condición de dosel	Calidad de planta	Inicial	Un año	Incremento
Pino	Chica	2.1 ± 0.8	14.3 ± 9.9	12.2
	Grande	4.5 ± 1.3	22.3 ± 10.9	17.8
Encino	Chica	2.1 ± 0.8	8.4 ± 4.2	6.3
	Grande	4.5 ± 1.3	16.5 ± 9.7	12.0
Sin dosel (testigo)	Chica	2.1 ± 0.8	9.2 ± 3.4	7.1
	Grande	4.5 ± 1.3	13.9 ± 4.0	9.4

formación de brotes (Figura 6). En contraste, *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit en ambiente tropical seco, produce mayor biomasa aérea y total con la radiación solar en claros que bajo dosel, y la luz favorece la acumulación de biomasa en la parte aérea más que en la subterránea (Singh, 2008).

Los modelos correspondientes a las Figuras 4 a 6 son los siguientes:

$$BA = -0.0000007 RST^2 + 0.0068 RST - 3.6688 \quad (5)$$

$$R^2 = 0.452, p \leq 0.05$$

$$BS = -0.0000004 RST^2 + 0.0047 RST - 3.2523 \quad (6)$$

$$R^2 = 0.564, p \leq 0.05$$

$$NR = -0.00000005 RST^2 + 0.0006 RST + 2.2094 \quad (7)$$

$$R^2 = 0.406, p \leq 0.05$$

donde, BA: biomasa aérea; BS: biomasa subterránea; NR: número de rebrotes; RST: radiación solar total.

El valor relativamente bajo de los coeficientes de determinación pudo deberse a la influencia de otros factores sobre la biomasa, como tipo de suelo. Cabe señalar que los niveles de radiación incluidos en el análisis fueron valores promedio, aunque son considerados constantes. Como podría esperarse hubo variaciones durante la época de sequía (marzo-abril) cuando los encinos perdieron el follaje durante un mes.

CONCLUSIONES

Hay óptimos niveles de radiación para la supervivencia máxima de la vara de perilla (60 a 95 % con radiaciones solares totales de 1000 a 2500 MJ m⁻² año⁻¹). La biomasa aérea, subterránea y total de la planta grande tiende a aumentar con niveles mayores

The models corresponding to Figures 4 to 6 are as follows:

$$BA = -0.0000007 RST^2 + 0.0068 RST - 3.6688 \quad (5)$$

$$R^2 = 0.452, p \leq 0.05$$

$$BS = -0.0000004 RST^2 + 0.0047 RST - 3.2523 \quad (6)$$

$$R^2 = 0.564, p \leq 0.05$$

$$NR = -0.00000005 RST^2 + 0.0006 RST + 2.2094 \quad (7)$$

$$R^2 = 0.406, p \leq 0.05$$

where BA: shoot biomass; BS: root biomass; NR: number of sprouts; RST: total solar radiation.

The relatively low value of the coefficients of determination could have been due to the influence

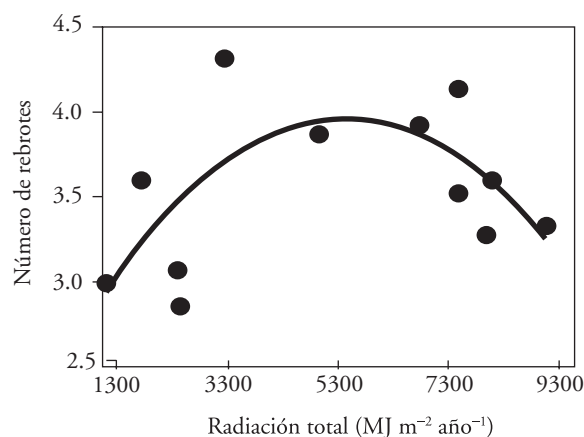


Figura 6. Número de brotes en plantas grandes de *Symphoricarpos microphyllus* H.B.K. respecto a la radiación solar total en plantaciones sin dosel arbóreo y en bosque de encino.

Figure 6. Number of sprouts in large seedlings of *Symphoricarpos microphyllus* H.B.K. with respect to total solar radiation in plantations without tree canopy and in oak forest.

de radiación; sin embargo, el máximo se alcanza con niveles intermedios ($6000 \text{ MJ m}^2 \text{ año}^{-1}$). Los brotes muestran una respuesta semejante.

Los tratamientos con dosel de pino y encino acumulan más biomasa total, independientemente del tamaño de la planta, que sin dosel. Aunque la planta grande muestra mejor respuesta que la chica, tienden a igualarse con el tiempo.

LITERATURA CITADA

- Benayas R., J. M., A. López P., C. García, N. Cámara, R. Stras-ser, and A. Gómez S. 2002. Early establishment of planted *Retama sphaerocarpa* seedlings under different levels of light, water and weed competition. *Plant Ecol.* 159: 201-209.
- Calderón, G., y J. Rzedowski. 2001. Flora Fanerogámica del Valle de México. CONABIO-INI. Pátzcuaro, Michoacán. 739 p.
- Cameron, A. D., W. L. Mason, and D. C. Malcolm. 2001. Understorey environmental vegetation response after partial cutting and site preparation in *Pinus strobus* L. stands. *For. Ecol. Manage.* 151: 43-59.
- Delta T. Company. 1998. Hemiview Canopy Analysis Software. Version 2.1 SR4. Delta T. devices Ltd, United Kingdom.
- García, E. 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM. México, D.F. 246 p.
- Gardiner, E. S., and J. D. Hodges. 1998. Growth and biomass distribution of cherrybark oak (*Quercus pagoda* Raf.) seedlings as influenced by light availability. *For. Ecol. Manage.* 108: 127-134.
- Hatchell, G. G., and H. D. Muse. 1990. Nursery cultural practices and morphological attributes of longleaf pine bare-root stock as indicators of early field performance. Research Paper SE-277. New Orleans, LA. USDA, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station. 34 p.
- Hernández G., J. D., y D. A. Rodríguez T. 2008. Radiación solar y supervivencia en una plantación de vara de perlilla (*Symphoricarpos microphyllus* H.B.K.). *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 14: 27-31.
- Hosmer, D. W., and S. Lemeshow. 2000. *Applied Logistic Regression*. Wiley-Interscience. New York. 392 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2000. Carta edafológica 1:50000, Angango E14A26 México y Michoacán. (D.C.).
- Johnson, J. D., and M. L. Cline. 1990. Seedling quality of southern pines. In: Duryea, M. L., and P. M. Dougherty (eds). *Forest Regeneration Manual*. Kluwer. Dordrecht. pp: 143-159.
- Monroy, R., G. Castillo C., y H. Colín. 2007. La perlita o perlilla, *Symphoricarpos microphyllus* H.B.K. (Caprifoliaceae), especie no maderable utilizada en una comunidad del corredor biológico Chichinautzin, Morelos, México. *Polibotánica* 23: 23-36.
- Ortiz R., J. N., y D. A. Rodríguez T. 2008. Incremento en biomasa y supervivencia de una plantación de *Pinus hartwegii* Lindl. en áreas quemadas. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 14(2): 89-95.
- of other factors on the biomass, such as soil type. It should be pointed out that the radiation levels included in the analysis were average values, although they are considered constant. As could be expected, there were variations during the dry season (March-April) when the oaks lost their foliage during one month.

CONCLUSIONS

There are optimum levels of radiation for maximum survival of vara de perlilla (60 to 95 % with total solar radiations of 1000 to 2500 $\text{MJ m}^{-2} \text{ y}^{-1}$). The shoot, root and total biomass of the large seedling tends to increase with higher levels of radiation. However, the maximum is reached with intermediate levels ($6000 \text{ MJ m}^{-2} \text{ y}^{-1}$). The sprouts exhibit a similar response.

The treatments with pine and oak canopy accumulate more total biomass, independently of the seedling size, than without canopy. Although the large seedling exhibits a better response than the small seedling, it tends to even out with time.

—End of the English version—



- Pezzullo, J. C. 2008. Logistic Regression, Version 05.07.20. URL: <http://statpages.org/logistic.html> (Consulta: septiembre, 2008).
- Quintero S., A. H., D. A. Rodríguez T., E. Guízar N., y R. Bonilla B. 2008. Propagación vegetativa de la vara de perlilla (*Symphoricarpos microphyllus* H.B.K.). *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 14: 21-26.
- Rivera C., M. L., P. Alberti M., V. Vázquez G., y M. M. Mendoza O. 2008. La artesanía como producción cultural susceptible de ser atractivo turístico en Santa Catarina del Monte, Texcoco. *Convergencia*. 15: 225-247.
- Rodríguez T., D. A. 2008. Indicadores de Calidad de Planta Forestal. Mundi-Prensa, UACH, ANCF México, D.F. 156 p.
- Rzedowski, J. 1979. Principales comunidades vegetales. In: Rzedowski, J., y G. C. de Rzedowski (eds). *Flora Fanerogámica del Valle de México*. Vol. 1. CECSA. México, D. F. pp: 47-54.
- SAS (Statistical Analysis System) Institute Inc. 2002. *Statistical Analysis System*, v. 9.0. Cary, NC, USA.
- Servicio Meteorológico Nacional. 2008. Normales climatológicas. URL: <http://smn.cna.gob.mx/> (Consulta: mayo, 2008).
- Singh, A. 2008. Influence of tree canopy on dry matter yield on seedlings of *Leucaena leucocephala* on mine spoil in a dry tropical environment. *Indian J. For.* 31(2): 207-208.
- Smith, M. D., C. B. Larson, J. M. Kelty, and P. M. Ashton. 1997. *The Practice of Silviculture: Applied Forest Ecology*. 9th ed. John Wiley. New York. 537 p.