

Morfología y escarificación de la semilla de mezquite, huizache y ahuehuete

Morphology and scarification of mesquite, huizache and bald cypress seeds

Gerardo Rivas Medina^a, Guillermo González Cervantes^b, Celso Manuel Valencia Castro^a, Ignacio Sánchez Cohen^b, José Villanueva Díaz^b

RESUMEN

La explotación irracional de especies como el mezquite, así como la desenfrenada deforestación de pastizales de sabana y ecosistemas riparios, ha conducido a una disminución de sus poblaciones, ocasionando cambios en la estructura y función de los ecosistemas. Por otra parte, es poca la información relativa a la reproducción y propagación de las mencionadas especies arbóreas. Este artículo determina el porcentaje de germinación, y describe la morfología de la semilla y del embrión de tres especies nativas. Los resultados obtenidos en la determinación del porcentaje de germinación muestran que, en la utilización del método mecánico se obtuvieron los porcentajes de germinación más altos, en huizache (100 %) y mezquite (53 %); en cambio en la germinación del ahuehuete, el resultado más alto fue de 13 % con el uso del método químico. En lo que se refiere a la descripción morfológica de las semillas, se encontró un gradiente de la forma para cada especie; así se observó, desde una forma esférica y de cubierta lisa en el huizache, hasta una forma de rombo y prismática y cubierta áspera en las semillas de mezquite y ahuehuete respectivamente. También se diferenciaron las semillas en base a su tamaño, presentando mejores características la de mezquite (47 mm²) que la de huizache (18 mm²) y ahuehuete (44 mm²).

PALABRAS CLAVE: Análisis de imagen, Plantas nativas, Métodos escarificación.

ABSTRACT

Tree population reduction and changes in structure and function of ecosystems are effects due overexploitation of dryland ecosystems such as woodlands, grasslands, and riparian systems. In addition, practically no information is available on reproduction and growth of these forest species. The objective of this study was to determine the germination rate and to describe seed morphology and embryo features of three indigenous species. Results indicate that seeds induced through mechanical pre-germination treatment resulted in the highest germination rates for huizache (100 %) and mesquite (53 %). Montezuma bald cypress showed the higher germination (13 %) with the chemical treatment. Seed morphology was quite variable, being round shaped and smooth coated for huizache, rhombic shaped with rugged coat in mesquite, and prismatic with rugged coat for bald cypress, respectively. Seed size differed between species being greater for mesquite (47 mm²) and bald cypress (44 mm²), and lower for huizache (18 mm²).

KEY WORDS: Image analysis, Native plants, Pre-germination methods.

En las zonas áridas y semiáridas del país los recursos forestales como mezquite, huizache y ahuehuete son de gran importancia por el diverso uso que se les da, ya sea para la explotación y obtención de madera, carbón, artesanías y

Forestry resources as mesquite, huizache and bald cypress (ahuehuete) are important in arid and semiarid areas of Mexico, due to their use as wood, charcoal, firewood, handicrafts and forage for small ruminants^(1,2,3), especially the first two species,

Recibido el 30 de noviembre de 2004 y aceptado para su publicación el 28 de abril de 2005.

^a Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango.

^b CENID-RASPA, Instituto Nacional de Investigaciones forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). AP 41, Cd. Lerdo Durango 35150. gonzalez.guillermo@inifap.gob.mx. Correspondencia al segundo autor.

alimentación de pequeños rumiantes en pastoreo^(1,2,3), sobre todo el mezquite y huizache, que son por lo general complemento económico para un amplio sector de pequeños productores rurales que trabajan con grandes limitaciones; como consecuencia, la explotación irracional de estas especies ha conducido a una disminución en su población⁽⁴⁾, debido a la falta de información respecto a la reproducción y manejo de estas especies. Según Foroughbckh⁽⁵⁾, la Subsecretaría Forestal y de la Fauna, dio a conocer en 1980 la existencia de aproximadamente 130 millones de hectáreas de matorral desértico micrófilo, pero dado el aprovechamiento desmedido de mezquite y huizache para la producción de carbón principalmente, se pierden hasta 600 ha por año^(2,6). De ahí la importancia de generar investigación que conlleve a una mejor comprensión de las interacciones entre la explotación y el manejo sustentable de especies nativas.

El mezquite, huizache y ahuehuate, generalmente presentan problemas con respecto a la germinación de sus semillas en condiciones naturales, ya que poseen una cubierta demasiado dura e impermeable que impide pasar al agua, inhibiendo en parte la germinación, lo cual hace que dicha cubierta se convierta en un problema al pretender un manejo de la semilla para fines reproductivos. Por ello la importancia de describir la morfología de semilla y embrión a través de un analizador de imagen, procedimiento que cuenta ya con un importante desarrollo en el estudio de la biodiversidad de plantas, dendrocronología y porosidad del suelo⁽⁷⁻¹³⁾.

Lo anterior condujo a establecer un trabajo con el objetivo de evaluar el efecto de diferentes tratamientos de escarificación en las semillas de dos árboles de ecosistemas áridos, como el mezquite y el huizache, y del ahuehuate que forma parte de los ecosistemas riparios del desierto Chihuahuense, así como la descripción morfológica del embrión y las semillas.

La escarificación y germinación de las semillas se realizó en la Facultad de Agricultura y Zootecnia, UJED., ubicada en Gómez Palacio, Dgo., y para ello se utilizaron métodos mecánicos (licuadora y lija) y químicos (ácido sulfúrico y agua caliente), así como de una incubadora marca "Precisión" con

which are an important source of revenue for a wide segment of small producers that suffer great limitations owing to overexploitation of these species which have resulted in loss of tree population⁽⁴⁾ due to scarce information on reproduction and management. Foroughback⁽⁵⁾ mentions that the Undersecretariat of Forestry and Wild Animal Species in 1980 reported 130 million hectares of microphyle desert bush, but some 600 ha of mesquite and huizache are lost every year due to overexploitation, mainly for charcoal^(2,6). Therefore, obtaining information on the interaction between exploitation and sustainable management is very important for the future of these and other native species.

Mesquite, huizache and ahuehuate usually present seed germination problems in natural conditions, owing to a hard, impermeable coat which limits water intake, inhibiting germination, thus making this coat a problem for an efficient use of seed for reproduction. Hence, the importance of description of seed and embryo morphology through image analysis, a procedure widely developed for plant biodiversity, dendrochronology and soil porosity studies⁽⁷⁻¹³⁾.

Owing to this, a study was set with the objectives of describing embryo and seed morphology and assessing the effect of different seed scarification treatments on two tree species of arid ecosystems (mesquite and huizache) and also of ahuehuate which forms part of the riparian ecosystems of the Chihuahuan desert.

Seed scarification and germination was carried out at the Facultad de Veterinaria y Zootecnia, UJED, in Gómez Palacio, Durango, Mexico. Mechanical (blender and sanding) and chemical (sulphuric acid and hot water) methods were used. A "Precision" incubator with 27 ± 2 °C internal temperature was used as germination chamber. A completely randomized experimental design with 12 treatments was used with three replications for each species (Tables 1, 2). A variance analysis and average comparison through Tukey's test was applied⁽¹⁴⁾.

Seed and embryo morphology was performed with the aid of an Olympus CCD digital camera, 4.1 mega pixel resolution, connected to an Olympus

Cuadro 1. Porcentaje de germinación de los diferentes tratamientos en mezquite y huizache

Table 1. Germination rates with different pre-germination treatments in mesquite and huizache

Treatment	Mesquite	Huizache
1. Home blender 10 sec	50 ^{ab}	100 ^a
2. Home blender 20 sec	27 ^{abc}	83 ^{ab}
3. Home blender 30 sec	53 ^a	67 ^{bc}
4. Sandpaper 10 min	13 ^{bc}	50 ^{cde}
5. Sandpaper 20 min	17 ^{bc}	30 ^{ef}
6. Sandpaper 30 min	20 ^{abc}	27 ^f
7. Hot water 80-100 °C 5 min	13 ^{bc}	53 ^{cd}
8. Hot water 80-100 °C 10 min	33 ^{abc}	50 ^{cde}
9. Hot water 80-100 °C 20 min	17 ^{bc}	50 ^{cde}
10. Concentrated sulphuric acid 5 min	7 ^c	27 ^f
11. Concentrated sulphuric acid 10 min	10 ^c	43 ^{def}
12. Concentrated sulphuric acid 20 min	33 ^{abc}	43 ^{def}

abcdef Different letters in columns indicate significant differences ($P < 0.05$).

una temperatura interior promedio de 27 ± 2 °C. En la germinación de las semillas se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 12 tratamientos (Cuadros 1,2), y tres repeticiones para cada especie. Enseguida se efectuó un análisis de varianza y una comparación de medias por el método de Tukey⁽¹⁴⁾.

La descripción morfológica de semillas y embriones se realizó con la ayuda de una cámara digital (Olimpus CCD) de 4.1 mega pixeles, conectada a un microscopio estereoscópico (Olimpus), bajo una matriz rectangular de 14 x 10 mm, o sea 140 mm², con una resolución espacial de 6 µm por píxel. El tratamiento de la imagen se efectuó con la ayuda de un analizador Image Pro Plus[®] v4.5 (Media Cybernetica, Maryland, USA) bajo micro computadora personal en el laboratorio del Centro Nacional de Investigaciones Disciplinarias en Relación Agua Suelo Planta Atmósfera, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas Forestales y Pecuarias (CENID-RASPA INIFAP).

La caracterización de la semilla y del embrión se realizó a partir del área de su sección, expresada sobre la imagen, y descrita por la ecuación:⁽¹⁵⁾

Cuadro 2. Porcentaje de germinación de los diferentes tratamientos en ahuehuete

Table 2. Germination rates with different pre-germination treatments in ahuehuete

Treatment	Germination rate
1. Stove, dry seeds 40 °C 24 h	12 ^a
2. Stove, dry seeds 40 °C 28 h	7 ^a
3. Stove, dry seeds 40 °C 30 h	7 ^a
4. Stove, dry seeds 40 °C 30 h	7 ^a
5. Absorption, water and sulphuric acid 20 min	7 ^a
6. Absorption, water and sulphuric acid 30 min	3 ^a
7. Hot water 80-100 °C 10 min	0 ^b
8. Hot water 80-100 °C 20 min	0 ^b
9. Hot water 80-100 °C 30 min	0 ^b
10. Concentrated sulphuric acid 10 min	10 ^a
11. Concentrated sulphuric acid 20 min	13 ^a
12. Concentrated sulphuric acid 30 min	10 ^a

ab Different letters in columns indicate significant differences ($P < 0.05$).

stereoscopic microscope, under a 14 x 10 mm (140 sq mm) rectangular matrix with a 6 µm per pixel spatial resolution. Image treatment was carried out with a Image ProPlus[®] v4.5 (Media Cybernetica, Maryland, USA), image analyzer connected to a personal computer at INIFAP's CENID RASPA.

Seed and embryo was characterized in its area, expressed on the image and described through the following equation⁽¹⁵⁾:

$$T = 4\pi * \text{area}$$

Being T the seed size in mm².

Results showed low germination in mesquite, being the blender 30 sec treatment the best (53 %). On the other hand, germination rates after chemical treatment, immersion in sulphuric acid for 5 and 10 min respectively showed the lower (Table 1).

Effects of different treatments applied to mesquite seeds were statistically significant, while no differences were found in average comparison between blender and most of the sandpaper and hot water treatments (Table 1). Low germination rates can be attributed to seed characteristics and to temperature variations in the germination chamber.

$$T = 4\pi \times \text{área}$$

Donde T es el tamaño de la semilla en mm²

Los resultados indicaron bajos porcentajes de germinación en mezquite, siendo el tratamiento mecánico con licuadora doméstica por 30 seg el que mayor efecto mostró en la germinación de la semilla, con 53 %. Por el contrario, los porcentajes de germinación más bajos se encontraron con la escarificación química, especialmente con la inmersión en ácido sulfúrico por 5 y 10 min respectivamente (Cuadro 1).

El efecto de los diferentes tratamientos utilizados en la semilla de mezquite fue significativo, y el análisis de comparación de medias indica que no hay diferencia estadística entre los tratamientos mecánicos con licuadora doméstica y la mayor parte de los tratamientos en agua caliente y papel lija (Cuadro 1). Los bajos porcentajes de germinación son atribuidos a las características de la semilla entre otras causas, así como a las variaciones en la temperatura interior de la cámara de germinación.

Respecto al huizache, los resultados mostraron en la mayoría de los tratamientos porcentajes de germinación muy superiores con relación a la semilla de mezquite. Así, los valores variaron de un 100 % de germinación para la escarificación mecánica (licuadora por 10 seg) a un 27 % de germinación en los tratamientos papel lija con 30 min y ácido sulfúrico concentrado con 5 min. Encontrándose que existió diferencia significativa entre los tratamientos utilizados, debido particularmente a las comparaciones entre el tratamiento de inmersión en ácido sulfúrico y casi todos los tratamientos (Cuadro 1). La escarificación mecánica presentó resultados más favorables para la germinación de semillas de mezquite y huizache.

Respecto al ahuehuete, los resultados indican que ningún tratamiento utilizado mejoró la germinación de la semilla ($P > 0.05$), sin embargo, el tratamiento con mejor porcentaje de germinación correspondió al ácido sulfúrico durante 20 min (Cuadro 2).

Estas diferencias encontradas para las tres especies en cuanto a porcentaje de germinación de semillas

For huizache, most of the treatments showed germination rates higher than those of mesquite. Rates went from 100 % for scarification in a home blender for 10 sec to 27 % for sandpaper treatments for 30 min and concentrated sulphuric for 5 min statistically significant differences were found between treatments particularly between sulphuric acid and nearly all the other treatments (Table 1). Mechanical scarification showed better results in mesquite and huizache seeds.

With reference to ahuehuete, results showed that no treatment improved the germination rate ($P > 0.05$); however the most favorable treatment was sulphuric acid for 20 min (Table 2).

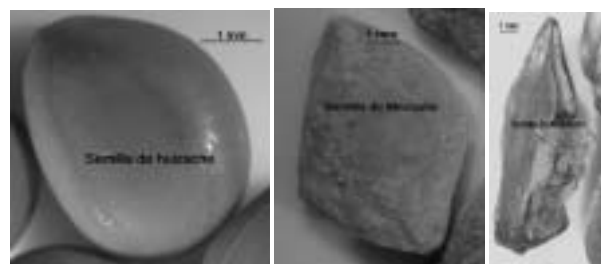
As an upshot of differences found in germination rates for the three species using mechanical and chemical scarification, seed and embryo morphology studies through image analyses were carried out as an approach between their intrinsic characteristics and their relationship to germination in each species.

Figure 1 shows the huizache, mesquite and ahuehuete seeds used in image analysis. A gradient in shape for each seed can be observed, huizache spherical and smooth coated, while both ahuehuete and mesquite are rough coated and prismatic and rhombic shaped, respectively, which allowed to show a gradient for the number of vertices in each seed, 5 for ahuehuete, 4 for mesquite and none for huizache.

In Table 3, average size, length and width of four seeds of each species are shown. Analysis allowed to differentiate ($P < 0.05$) mesquite seed which

Figura 1. Semillas de especies nativas del norte de México

Figure 1. Seeds of native species of the north of Mexico



utilizando la escarificación mecánica y química, condujeron al estudio de la morfología de la semilla y embrión a partir de la forma y tamaño mediante el analizador de imagen, como estudio de aproximación entre sus características intrínsecas, y relacionarlas a la germinación para cada especie.

La Figura 1 presenta las semillas de huizache, mezquite y ahuehuete utilizadas para el análisis de imagen. Se puede distinguir un gradiente de la forma para cada especie; se comprueba que la semilla de huizache presentó una forma esférica y de cubierta lisa, a diferencia de las semillas de mezquite y ahuehuete, que presentaron una forma de rombo y prismática respectivamente, así como cubierta áspera en las dos semillas, lo que permitió mostrar un gradiente en el número de vértices para cada semilla, donde resaltó el ahuehuete con 5, para mezquite 4 y para huizache 0.

En el Cuadro 3 se presenta el tamaño, largo y ancho promedio de cuatro semillas de las especies en estudio. El análisis permitió diferenciar ($P < 0.05$) la semilla de mezquite, que presentó mejores características morfológicas en base a su tamaño (47 mm^2), es decir 161 % más grande que la de huizache (18 mm^2) y muy similar a la de ahuehuete (44 mm^2).

En relación al largo, la semilla de mezquite y ahuehuete fueron similares ($P > 0.05$), y la de huizache mostró una disminución de hasta 5 mm, que representó un 100 % en relación a las otras semillas. Respecto al ancho, la semilla de mezquite (7 mm) y ahuehuete (6 mm) mostraron ser

showed a better morphology based on its size (47 mm^2), 161 % bigger than huizache and very similar to ahuehuete's (44 mm^2).

Lengthwise, mesquite and ahuehuete seeds showed similarity ($P < 0.05$), while that of huizache was up to 5 mm shorter (100 %), the same in width, mesquite (7 mm) and ahuehuete (6 mm) showed strong similarity while huizache was 40 % thinner. However, ahuehuete was lighter when weight of ten seeds was considered (0.1 g) than huizache (0.3 g) and mesquite (0.6 g). These differences accounted for a study of embryo morphology. The huizache embryo shape was spherical and very similar to that of mesquite, while that of ahuehuete was bacillus shaped. Huizache's however kept the shape of the seed, but not so the other two (Figure 2).

In Table 4, embryo morphology of the three species considered in this study can be seen. Mesquite showed better morphology, size (18 mm^2), vs 13 and 12 mm^2 for huizache and ahuehuete,

Cuadro 3. Características morfológicas de semillas de especies nativas

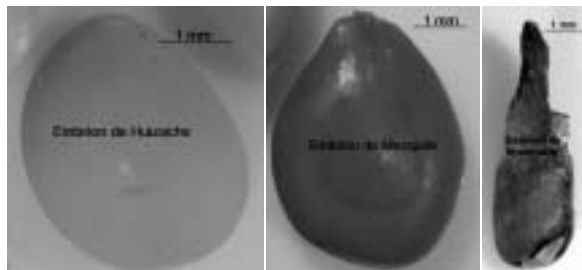
Table 3. Seed morphological characteristics in native species

	Huizache	Mezquite	Ahuehuete
Size, mm^2	18	47	44
Length, mm	5	10	11
Width, mm	4	7	6
Shape	Spherical	Rhombic	Prismatic
Weight*, g	0.3	0.6	0.1.

* 10 seeds

Figura 2. Morfología del embrión de diferentes especies nativas

Figure 2. Embryo morphology of different native species



Cuadro 4. Morfología de cuatro embriones de especies nativas

Table 4. Morphology of four embryos in native species

	Huizache	Mezquite	Ahuehuete
Size, mm^2	13	18	12
Length, mm	4.6	6	7
Width, mm	3.6	4	2
Shape	Spherical	Rhombic	Bacilli

semejantes, en cambio la de huizache se vio reducida hasta un 40 % respecto a las anteriores. Sin embargo en función del peso de 10 semillas, la de ahuehuate resultó ser la más liviana (0.1 g), la de huizache intermedia (0.3 g), y la de mezquite la más pesada (0.6 g). Estas diferencias llevaron a analizar la morfología de los embriones. El huizache presentó una forma esférica y semejante a la del mezquite; por su parte el del ahuehuate es alargado parecido a un bacilo. Se constata además que el embrión del huizache conservó la forma de la semilla, a diferencia del mezquite y ahuehuate, cuyas formas de semilla no corresponden al del embrión (Figura 2).

El Cuadro 4 presenta las características morfológicas de embriones en las tres especies estudiadas. Se constata que el embrión de mezquite presentó mejores características morfológicas; su tamaño (18 mm²), contra 13 y 12 mm² del huizache y ahuehuate respectivamente. Al comparar el espacio (tamaño) que ocupa el embrión dentro de la semilla, resalta que el embrión del huizache ocupa el 72 % del total del área (18 mm²), contra un 39 % y 26 % del mezquite y ahuehuate respectivamente (Cuadro 5).

Lo anterior conlleva a mencionar la probable relación entre los porcentajes de germinación de cada especie, y la relación tamaño de semilla-tamaño del embrión. La semilla de huizache presentó un embrión que ocupa un 72 % del total de la semilla y un 100 % de germinación con una escarificación mecánica. Por su parte la semilla de mezquite mostró un embrión que ocupa el 38 % del total de la misma, con un 53 % de germinación con el

respectively. Regarding space occupied by the embryo inside the seed, that of huizache takes up 72 % of total area vs 39 and 26 % for mesquite and ahuehuate, respectively (Table 5).

All this helps to establish a possible relationship between germination rates and the seed size – embryo size ratio. Embryos of Huizache seeds on average took up 72 % of total area and 100 % germination rate with mechanical scarification. Mesquite's embryos on the other hand occupied 38 % of total seed area and a 53 % germination rate with the same pre-germination treatment. Ahuehuate showed the lower germination rate, with chemical scarification, of the three species (13 %), embryo taking up 27 % of total seed area. The higher the total seed area occupied by the embryo, the higher the germination rate.

A search for ratios between germination rate and seed characteristics, as well as of embryos of different species native to the North of Mexico, lead to the establishment of a methodology to facilitate germination of these species, starting with scarification methods which would facilitate reforestation of overexploited sites, and also to obtain a better knowledge through seed and embryo characterization, using image analysis as an approach.

Mechanical scarification as a pre-germination method is appropriated for species like huizache (100 %) and mesquite (53 %), which would allow for propagation of these species in areas susceptible to overexploitation.

Cuadro 5. Porcentaje de espacio ocupado por el embrión dentro de la semilla

Table 5. Space taken up by embryos inside total seed area (%)

Huizache		Mezquite		Ahuehuate	
12.4990/18.0110	69.3	19.2760/45.3500	42.5	9.0150/45.4440	19.8
14.3060/19.4200	73.6	19.2870/49.1370	39.2	11.4080/42.8670	26.6
12.1960/17.0230	71.6	15.5020/46.6020	33.2	12.4220/42.4330	29.2
12.5130/16.5010	75.8	19.5750/45.5800	42.9	14.1240/47.1100	29.9
Averages	72.6 ^a		39.4 ^b		26.4 ^c

abc Different letters indicate significant differences ($P < 0.05$).

mismo método pregerminativo del huizache. El ahuehuete tuvo un embrión que ocupa un 27 % del área de la semilla, y cuyo porcentaje de germinación fue el más bajo de las tres especies estudiadas (13 %), usando una esscarificación química. Por lo que a mayor espacio ocupado por el embrión en la semilla, mayor será la germinación obtenida por ésta.

La búsqueda de relaciones entre la germinación y las características de la semilla, así como del embrión de diferentes especies nativas del norte de México, condujo a establecer una metodología que facilitará la germinación de las semillas de estas especies, a partir de la aplicación de métodos de esscarificación, que ayudarán en la revegetación de los lugares altamente explotados, así como obtener un mejor conocimiento mediante la caracterización de la semilla y del embrión, utilizando el análisis de imagen como estudio de aproximación.

El uso mecánico como método pregerminativo es significativo para la reproducción de plantas como el huizache (100 %) y mezquite (53 %) lo que permite la propagación de estas especies para la reforestación de áreas sensibles a la explotación irracional del hombre.

Respecto a la germinación de semillas de plantas arbóreas como el ahuehuete, se concluye que los métodos mecánicos no son adecuados debido a las características de la semilla, principalmente el peso (0.01 g) y su forma, lo que impide la obtención de plantas para la reforestación.

La caracterización de la semilla y del embrión mediante el analizador de imagen, a partir del tamaño, largo, ancho y forma, permitió distinguir aquellas semillas con mejores características, y su comparación con el embrión, donde se demuestra que la semilla de huizache es la más pequeña (18 mm²), la de ahuehuete de menor peso (0.1 g) y la de mezquite con mejores características morfológicas en tamaño (47 mm²) y peso (0.6 g); pero al diferenciar el embrión de cada especie y en relación al tamaño de la semilla, las cosas fueron diferentes, ya que fue el huizache el que presentó una mejor relación, lo que significa una probable mayor germinación.

For species like ahuehuete, mechanical scarification is not an adequate pre-germination method, owing to seed characteristics, mainly weight (0.01 g) and shape.

Seed and embryo characterization through image analysis of shape, size, width and length, allows to pick those seeds with better characteristics, huizache's are the smaller (18 mm²), ahuehuete's the lighter (0.01 g) and mezquite's those with better morphological characteristics for size (47 mm²) and weight (0.6 g), but when embryos of each species are considered relative to seed size, huizache presented the best ratio, which probably means a better germination.

A comparison between seed shape and size and space taken up by the embryo in different species, most probably should help explain differences found in germination rates.

End of english version

La comparación entre el tamaño y forma de la semilla y el espacio que ocupa el embrión en la semilla de las diferentes especies, probablemente permita explicar las diferencias encontradas entre los porcentajes de reproducción de germoplasma 100 % para huizache, 53 % mezquite y 13 % ahuehuete.

LITERATURA CITADA

1. Villanueva DJ. Distribución actual y características ecológicas del mezquite (*Prosopis laevigata* H. & B. Johnst), en el estado de San Luis Potosí. SARH-INIFAP. 1993;(74):1-37.
2. Serrato SR, Quiroz SN. Modelo de predicción para la producción de mezquite (*Prosopis glandulosa*) en la Comarca Lagunera (memoria). XIII Semana internacional de Agronomía FAZ-UJED. Gómez Palacio, Dgo. 2001:1-6.
3. Flores TFJ. Estudio de las primeras etapas de desarrollo del mezquite *Prosopis laevigata* en el estado de Aguascalientes. Agrocienca (serie recursos naturales renovables) 1993;3(3):42-52.
4. Aníbal V. Algarrobos como especies para reforestación; una estrategia de mejoramiento. SAGPyA Forestal 2000;(16):5 [en línea. <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/0-4/revistas/revista16/algarrob>. Consultado mayo 13, 2003.

5. Foroughbakh, PR. Tratamiento a la semilla de catorce especies forestales de uso múltiple de zonas de matorral y su influencia en la germinación. Facultad de Ciencias Forestales. U.A.N.L. Linares, Nuevo León México. 1989;(11):1-25.
6. Hernández, RA, Villanueva DJ. Establecimiento y manejo de un modulo silvopastoril de mezquite en la zona media de San Luis Potosí. SAGARPA-INIFAP-CIRNE. 2001;(15):1-26.
7. Bouma J, Jongerius A, Schoonderbeek D. Calculation of saturated hydraulic conductivity of some pedal clay using micromorphometric data. *Soil Sci Soc Am J* 1979;(43):261-264.
8. Murphy CP, Bullock P, Turner HR. The measurement and characterization of voids in soil thin sections by image analysis. Part I. Principles and techniques. *J Soil Sci* 1977;(28):498-518.
9. German P, Beven K. Water flow in soil macropores. I. An experimental infiltration. *J Soil Sci* 1981;(32):1-13.
10. Bullock P, MC Keague AJ. Estimating air-water properties of a clay soil. *Comptes Rendus du colloque fonctionnement hydrique et comportement des sols*, Dijon France, A.F.E.S 1984;(1):55-67.
11. Bruand A. Contribution à l'étude de la dynamique de l'espace poral. Utilisation des courbes de retrait et des courbes de rétention d'eau. *Sci Sol* 1986;(24):351-362.
12. Hallaire V. Description of microcrack orientation in a clayey soil using image analysis. Proceedings of 9th International working meeting on soil micromorphology A.j. Ringrose-Voase, Gs Humphreys, editors. Elsevier, Amsterdam: 1994:549-557.
13. González CG. Fonctionnement hydrodynamique des sols de versant en amont de petits barrages en region semi-aride du Nord Mexique (Ranch Atotonilco) [tesis doctorado]. Angers Francia, Université d'Angers; 2002.
14. Martínez GA. Diseños experimentales: Métodos y elementos de teoría. 1er. ed. México, D.F: Editorial Trillas; 1988.
15. Coster M, Chermant LJ. Précis d'analyse d'image. Edition du CNRS, Paris Francia; 1985:521.