



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

TESIS

*“VARIABILIDAD MORFOLÓGICA Y GENÉTICA DEL
MEZQUITE *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) EN
EL ESTADO DE AGUASCALIENTES”.*

PRESENTA

Ricardo Luna Castañón

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA EN CIENCIAS
AGRONÓMICAS

TUTOR:

Dr. José de Jesús Luna Ruiz

COMITÉ TUTORAL:

Dr. Juan T. Frías Hernández

Dr. Antonio de Jesús Meraz Jiménez

Dr. Joaquín Sosa Ramírez

Aguascalientes, Ags. 10 de diciembre de 2014.

DRA. GUADALUPE RUÍZ CUÉLLAR
DIRECTOR GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
P R E S E N T E .

Por medio del presente me permito comunicarle a usted que la tesis titulada "VARIABILIDAD MORFOLÓGICA Y GENÉTICA DEL MEZQUITE (PROSOPIS LAEVI GATA) EN EL ESTADO DE AGUASCALIENTES", del alumno **C. RICARDO LUNA CASTAÑÓN**, egresado de la Maestría en Ciencias Agronómicas y Veterinarias, respeta las normas y lineamientos establecidos institucionalmente para su elaboración y su autor cuenta con el voto aprobatorio de su tutor y comité tutorial.

Sin más por el momento aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
Jesús María, Ags., 27 de Noviembre del 2014.
"Se Lumen Proferre"



M. en C. GABRIEL ERNESTO PALLÁS GUZMÁN
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

c.c.p. C.P. Ma. Esther Rangel Jiménez.- Jefa del Departamento del Control Escolar
c.c.p. Sección de Certificados y Títulos
c.c.p. Secretario Técnico
c.c.p. Estudiante
c.c.p. Archivo



M.C. GABRIEL ERNESTO PALLÁS GUZMÁN
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PRESENTE.

Por este medio, y en mi calidad de Tutor del alumno de Maestría en Ciencias Agronómicas y Veterinarias **Ricardo Luna Castañón**, quien realizó la tesis titulada **“Variabilidad morfológica y genética del mezquite (*Prosopis laevigata*) en el estado de Aguascalientes.”** me permito emitir mi **VOTO APROBATORIO** para que pueda proceder a imprimirla, y poder así continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Por su atención a lo anterior me despido, no sin antes enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

“Se Lumen Proferre”

Jesús María, Ags., 21 de noviembre de 2014

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'José de Jesús Luna Ruiz', written over a horizontal line.

Dr. José de Jesús Luna Ruiz

Tutor de Tesis

c.c.p. Archivo

M.C. GABRIEL ERNESTO PALLÁS GUZMÁN
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
P R E S E N T E.

Por este medio, y en mi calidad de Asesor del alumno de Maestría en Ciencias Agropecuarias **Ricardo Luna Castañón**, quien realizó la tesis titulada **“Variabilidad morfológica y genética del mezquite (*Prosopis laevigata*) en el estado de Aguascalientes.”** me permito emitir mi **VOTO APROBATORIO** para que pueda proceder a imprimirla, y poder así continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Por su atención a lo anterior me despido, no sin antes enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

“Se Lumen Proferre”

Jesús María, Ags., 21 de noviembre de 2014



Dr. Joaquín Sosa Ramírez
Integrante del Comité Tutorial

c.c.p. Archivo



M.C. GABRIEL ERNESTO PALLÁS GUZMÁN
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
P R E S E N T E.

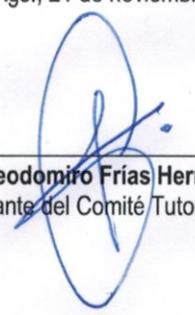
Por este medio, y en mi calidad de Asesor del alumno de Maestría en Ciencias Agropecuarias **Ricardo Luna Castañón**, quien realizó la tesis titulada "**Variabilidad morfológica y genética del mezquite en el estado de Aguascalientes.**" me permito emitir mi **VOTO APROBATORIO** para que pueda proceder a imprimirla, y poder así continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Por su atención a lo anterior me despido, no sin antes enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

"Se Lumen Proferre"

Jesús María, Ags., 21 de noviembre de 2014



Dr. Juan Teodomiro Frías Hernández
Integrante del Comité Tutorial

c.c.p. Archivo



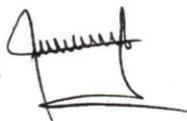
M. EN C. GABRIEL ERNESTO PALLAS GUZMÁN
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
P R E S E N T E.

Por este medio manifiesto a usted que **RICARDO LUNA CASTAÑÓN**, alumno de la Maestría en Ciencias Agronómicas y Veterinarias ha cumplido de manera satisfactoria el proceso de escritura de la tesis titulada **“VARIABILIDAD MORFOLÓGICA Y GENÉTICA DEL MEZQUITE (*Prosopis laevigata*) EN EL ESTADO DE AGUASCALIENTES”**.

Por lo anterior no tengo inconveniente en otorgar mi **voto aprobatorio** para la impresión del documento y continuar con el proceso para el examen de grado.

Se extiende la presente en la ciudad de Aguascalientes, a los **veintiseis días** del mes de **Noviembre del año dos mil catorce**.

ATENTAMENTE



Dr. Antonio de Jesús Meraz Jiménez
INTEGRANTE DEL COMITÉ TUTORAL

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por apoyar económicamente para la obtención de este posgrado.

De manera especial agradezco a mi tutor de tesis el Dr. José de Jesús Luna Ruiz por su constante apoyo y mis co-tutores Dr. Joaquín Sosa Ramírez, Dr. Antonio de Jesús Meraz Jiménez y Dr. Juan Teodomiro Frías Hernández de quienes con su paciencia y acertada dirección y recomendaciones lograron la consolidación de este proyecto.

A la Universidad Autónoma de Aguascalientes por las facilidades materiales y económicas otorgadas durante la ejecución de este trabajo. Igualmente a la Universidad de Guanajuato y el Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados (CINVESTAV) Irapuato por las instalaciones y tiempo para la realización de los análisis moleculares y su interpretación.

A la Dra. June Simpson, M. C. Katia Gil, Tec. Emigdia Alfaro y M. C. Rocío Aguilar del CINVESTAV por su constante asesoría y tiempo en la realización de los análisis moleculares.

A mis compañeros de generación Viridiana, Anabel, Alejandra, Gabriela, León y José Carlos, quienes fueron una fuente de motivación, ideas y apoyo ante los retos de esta etapa profesional.

A mis amigos Jesús, Everardo, Mónica y Elías que valiosamente colaboraron con su tiempo y esfuerzo en la colecta de material y captura de datos en campo.

DEDICATORIA

Al apoyo incondicional de mis padres Alicia y Juan Manuel, que siempre han sido un pilar e impulso para lograr el objetivo de este proyecto.

Especial a mi amiga Tamieka De Jong, por su tiempo, paciencia e incondicional soporte durante estos años de esfuerzo.

A mis hermanos Mario, Juan Manuel e Iván que de alguna manera han estado ahí, estimulando para el logro de este paso.



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	1
ÍNDICE DE TABLAS	3
ÍNDICE DE FIGURAS	4
INTRODUCCIÓN	8
I. MARCO TEÓRICO	10
1.1 Desertificación y degradación de ecosistemas.....	10
1.2 Importancia económica del mezquite.....	14
1.3 Ecología del mezquite.....	15
1.4 Selección de Germoplasma y Genética de las poblaciones de mezquite.	18
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	22
III. HIPÓTESIS	23
IV. OBJETIVOS.....	24
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
5.1 Caracterización de sitios, rodales.....	25
5.1.1 Sitio.....	25
5.1.2 Caracterización de rodales	25
5.2 Selección y caracterización de árboles semilleros.....	26
5.2.1 Caracterización morfológica de árboles semilleros	26
5.2.2 Caracterización genética-molecular de árboles semilleros.....	27
5.3. Caracterización de progenies	31
5.3.1 Caracterización morfológica de progenies.....	31
5.3.2 Caracterización molecular de progenies.....	32
5.4. Análisis de correlación entre los índices de diversidad (morfológica y genética) de progenitores y progenies y de efectos de sitio y rodal	33
5.4.1 Cálculo de índices de diversidad morfológica y genética	33

5.4.2 Análisis de correlación de los índices de diversidad morfológica y genética entre árboles semilleros y sus progenies	33
VI. RESULTADOS.....	34
6.1. Caracterización de sitios y rodales	34
6.1.1. Sitio.....	34
6.1.2. Caracterización de rodales.	50
6.2. Caracterización de árboles semilleros.....	53
6.2.1. Caracterización morfológica de árboles semilleros.....	53
6.2.2. Evaluación genética molecular de los semilleros.....	63
6.3. Caracterización de las progenies.....	64
6.3.1. Caracterización morfológica.....	64
6.4. Análisis de correlación entre los índices de diversidad (morfológica y genética) de progenitores y progenies y de efectos de sitio y rodal	69
6.4.1. Índices de diversidad en progenitores (Morfológica y Genética).....	69
6.4.2. Índices de diversidad en progenies (Morfológica y Genética).....	69
VII. DISCUSIÓN	70
7.1. Caracterización de sitios y rodales	70
7.2. Caracterización de árboles semilleros	73
7.3. Caracterización de las progenies.....	74
CONCLUSIONES.....	76
GLOSARIO.....	77
BIBLIOGRAFÍA.....	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Bases de datos de los arboles semilleros (progenitores) y sitios de procedencia.	31
Tabla 2. Resumen de los datos meteorológicos en los cuatro sitios de muestreo.	32
Tabla 3. Resumen de los datos meteorológicos en los cuatro sitios de muestreo.	36
Tabla 4. Análisis de Varianza del componente arena.	36
Tabla 5. Análisis de Varianza del componente limo.	38
Tabla 6. Análisis de Varianza del componente arcilla.	40
Tabla 7. Análisis de Varianza del componente pH.	42
Tabla 8. Análisis de Varianza del componente conductividad eléctrica.	44
Tabla 9. Análisis de Varianza del componente materia orgánica.	46
Tabla 10. Análisis de Varianza del componente carbono orgánico.	48
Tabla 11. Promedios de contenido por componente en cada sitio y su clase textural.	50
Tabla 12. Densidad de población y especies asociadas con <i>P. laevigata</i> por cada sitio.	53
Tabla 13. Dasometría de los árboles semilleros por sitio.	54
Tabla 14. Promedios de los atributos de hoja para los arboles semilleros del sitio Peñuelas.	56
Tabla 15. Promedio de los atributos de hoja del sitio Los Caños en milímetros. ...	56
Tabla 16. Promedio de los atributos de hoja del sitio La Luz en milímetros.	57
Tabla 17. Promedio de los atributos de hoja del sitio Ojo de Agua de los Montes en milímetros.	57
Tabla 18. Promedios de los caracteres morfológicos evaluados correspondientes a cada sitio de procedencia.	58
Tabla 19. Promedio de las medidas en vainas de 26 árboles semilleros.	61
Tabla 20. ANDEVA de Longitud de vaina.	62
Tabla 21. ANDEVA Ancho de vaina.	62
Tabla 22. ANDEVA Número de semillas por vaina.	63
Tabla 23. Estimación de peso.	64
Tabla 24. Porcentajes de emergencia de semillas de <i>P. laevigata</i>	64
Tabla 25. Promedio de los caracteres morfológicos evaluados a nivel plántula de las progenies de semilleros, expresados en milímetros.	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Se ejemplifica el muestreo en sitios rectangulares, donde a partir del árbol semillero se mide un rectángulo de 20 m x 50 m.	26
Figura 2. Promedios anuales de temperaturas y precipitación durante el periodo 2002-2013 en la estación “Santa Anita”.	34
Figura 3. Promedios anuales de precipitación y temperaturas durante el periodo 2002-2013 en la estación “Los Gavilanes”.	34
Figura 4. Promedios anuales de temperaturas y precipitación durante el periodo 2002-2013 en la estación “Pilotos” y “Sandovalos”.	35
Figura 5. Promedios anuales de temperaturas y precipitación durante el periodo 2002-2013 en la estación “Los Pinos”.	35
Figura 6. Contenido de arena en suelo por sitio.	37
Figura 7. Contenido de arena en suelo por parcela de muestreo (fuera de la copa vs bajo la copa).	37
Figura 8. Contenido de arena en suelo por parcela de muestreo en cada sitio.	38
Figura 9. Contenido de limo en suelo por sitio.	39
Figura 10. Contenido de limo en suelo por parcela de muestreo (fuera de la copa vs bajo la copa).	39
Figura 11. Diferencias de contenido de limo en suelo por parcela de muestreo en cada sitio.	40
Figura 12. Contenido de arcilla en suelo por sitio.	41
Figura 13. Contenido de arcilla en suelo por parcela de muestreo (fuera de la copa vs bajo la copa).	41
Figura 14. Contenido de arcilla en suelo por parcela de muestreo en cada sitio.	42
Figura 15. pH en el suelo de cada sitio.	43
Figura 16. pH en el suelo por parcela de muestreo (fuera de la copa vs bajo la copa).	43
Figura 17. Niveles de pH en suelo por parcela de muestreo en cada sitio.	44
Figura 18. Conductividad eléctrica en el suelo en cada sitio.	45
Figura 19. Conductividad eléctrica en el suelo por parcela de muestreo (fuera de la copa vs bajo la copa).	45
Figura 20. Conductividad eléctrica del suelo por parcela de muestreo en cada sitio.	46
Figura 21. Contenido de materia orgánica en suelo por sitio.	47
Figura 22. Contenido de materia orgánica en suelo por parcela de muestreo (fuera de la copa vs bajo la copa).	47
Figura 23. Contenido de materia orgánica en suelo por parcela de muestreo en cada sitio.	48

Figura 24. Contenido de carbono orgánico en suelo por sitio.	49
Figura 25. Contenido de carbono orgánico en suelo por parcela de muestreo (fuera de la copa vs bajo la copa).	49
Figura 26. Contenido de carbono orgánico en suelo por parcela de muestreo en cada sitio.	50
Figura 27. La fotografía aérea muestra el sitio de muestreo Buenavista de Peñuelas, donde se ubican los árboles con cada una de sus etiquetas.	51
Figura 28. La fotografía aérea muestra el sitio de muestreo Los Caños, donde se ubican los árboles con cada una de sus etiquetas.	51
Figura 29. La fotografía aérea muestra el sitio de muestreo Ojo de Agua de los Montes, donde se ubican los árboles con cada una de sus etiquetas.	52
Figura 30. La fotografía aérea muestra el sitio de muestreo La Luz, donde se ubican los árboles con cada una de sus etiquetas.	52
Figura 31. Promedios de alturas.	55
Figura 32. Cobertura de copa.	55
Figura 33. Gráfica comparativa de los promedios de tamaño de fuste en los árboles semilleros entre los sitios.	56
Figura 34. Largo de peciolo.	58
Figura 35. Largo de pinas.	59
Figura 36. Ancho de las pinas.	59
Figura 37. Pares de foliolos.	60
Figura 38. Largo de los foliolos.	60
Figura 39. Ancho de los foliolos.	61
Figura 40. Longitud de vainas.	62
Figura 41. Ancho de las vainas.	63
Figura 42. Número de semillas por vaina.	63
Figura 43. Porcentaje de germinación por sitio de procedencia.	64
Figura 44. Producción de plántula a los 90 días después de la siembra.	65
Figura 45. Altura de las plantas en la progenie.	66
Figura 46. Grosor del tallo en plántulas de la progenie.	66
Figura 47. Largo del peciolo en plántulas de la progenie.	67
Figura 48. Largo de la pina en plántulas de la progenie.	67
Figura 49. Ancho de pina en plántulas de la progenie.	68
Figura 50. Pares de foliolos por pina en plántulas de la progenie.	68
Figura 51. Longitud de los foliolos en plántulas de la progenie.	69
Figura 52. Ancho de los foliolos en plántulas de la progenie.	69

RESUMEN

En este estudio se evaluó la diversidad genética de árboles de mezquites (*Prosopis laevigata*) semilleros y sus respectivas progenies, procedentes de cuatro regiones dentro del estado de Aguascalientes: (1) Peñuelas, Aguascalientes; (2) Los Caños, Aguascalientes; (3) La Luz, El Llano y (4) Ojo de Agua de los Montes, Tepezalá. Se caracterizaron morfológicamente los 10 árboles más prominentes de cada sitio, denominados como semilleros, igualmente se evaluó la calidad del rodal y sitio de procedencia, finalmente se analizaron genéticamente los árboles semilleros. Se produjo planta a partir de semillas colectadas de cada uno de los árboles semilleros, la plántula de cada árbol semillero se midió y caracterizó morfológicamente y molecularmente usando los mismos criterios aplicados a los progenitores. En una última instancia se calcularon los índices de diversidad morfológica y genética entre árboles semilleros y entre progenies, así mismo se analizaron los efectos de la calidad del sitio sobre algunas variables de vigor. Se encontraron diferencias en calidad entre los cuatro sitios de estudio, en cuanto a elementos físicos, la temperatura y textura de suelos fueron variables explicativas, donde Los Caños y Peñuelas presentaron la mayor calidad; respecto a los elementos bióticos, Ojo de Agua de los Montes presentó mayor riqueza de especies relacionadas con mezquites. Morfológicamente se encontró variabilidad entre mezquites del mismo sitio, como entre mezquites de distintos sitios. En las progenies se encontraron diferencias en altura de plántulas, largo de peciolo, largo de la pina, ancho de la pina y pares de folíolos. Las variables evaluadas indican que existen diferencias morfológicas y genéticas significativas entre individuos de los cuatro sitios evaluados, así como también las diferencias entre las progenies.

Palabras clave: mezquite, *Prosopis laevigata*, diversidad, morfología, genética, caracterización, semilleros.

ABSTRACT

In this study, genetic diversity of mesquite trees (*Prosopis laevigata*) was evaluated, along with their progeny. All sources are four different regions, or sites of study in the state of Aguascalientes: (1) Peñuelas, Aguascalientes; (2) Los Caños, Aguascalientes; (3) La Luz, El Llano and (4) Ojo de Agua de los Montes, Tepezalá. The 10 most prominent trees from each site were morphologically characterised, and called seed sources, likewise the quality of forest stand and site of provenance was assessed, and finally the seed sources trees were genetically analyzed. Seedlings from the seed sources were grown, measured, morphologically and genetically characterised. In the last stage, index of morphologic (intraspecific) and genetic diversity were calculated among seed sources and progeny, similarly effects of site quality were analyzed. Slightly differences were found in quality between the four sites of study. According to physical elements like temperature and soil texture, they explained the quality of the sites, obtaining that the sites Los Caños and Peñuelas were the ones with the best site quality; according to biotic, the site Ojo de Agua de los Montes showed the highest species richness related with mesquites. Morphologically was found that variability between mesquites from the same site and mesquites from different sources or sites. Also were found differences in the progeny, relative to the height, petiole length, raches length, raches width and number of leaflet pairs. These variables have been useful to morphologically differentiate the individuals from the four sites, as well as to differentiate among progeny from these four sources.

Keywords: mesquite, *Prosopis laevigata*, diversity, morphology, genetics, characterisation, seed sources

INTRODUCCIÓN

A nivel global en los últimos 20 años, la desertificación ha sido reconocida como un problema ambiental importante y es prioritario por parte del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). La vegetación es el protector número uno contra la erosión eólica e hídrica y es prioridad preservar la misma sobre los suelos para evitar que se sigan perdiendo.

En México, cerca del 70% del territorio es de clima árido y semi-árido, principal hábitat de especies del género *Prosopis spp* que se han utilizado para múltiples propósitos.

La erosión del suelo es una importante causa de degradación del medio ambiente y uno de los factores limitantes más serios que enfrenta la actividad agropecuaria y forestal en el estado de Aguascalientes. Es el problema de degradación más extendido por el territorio aguascalentense, dado que más de 89% de la superficie estatal presenta problemas de erosión en alguna magnitud (CONABIO, 2008).

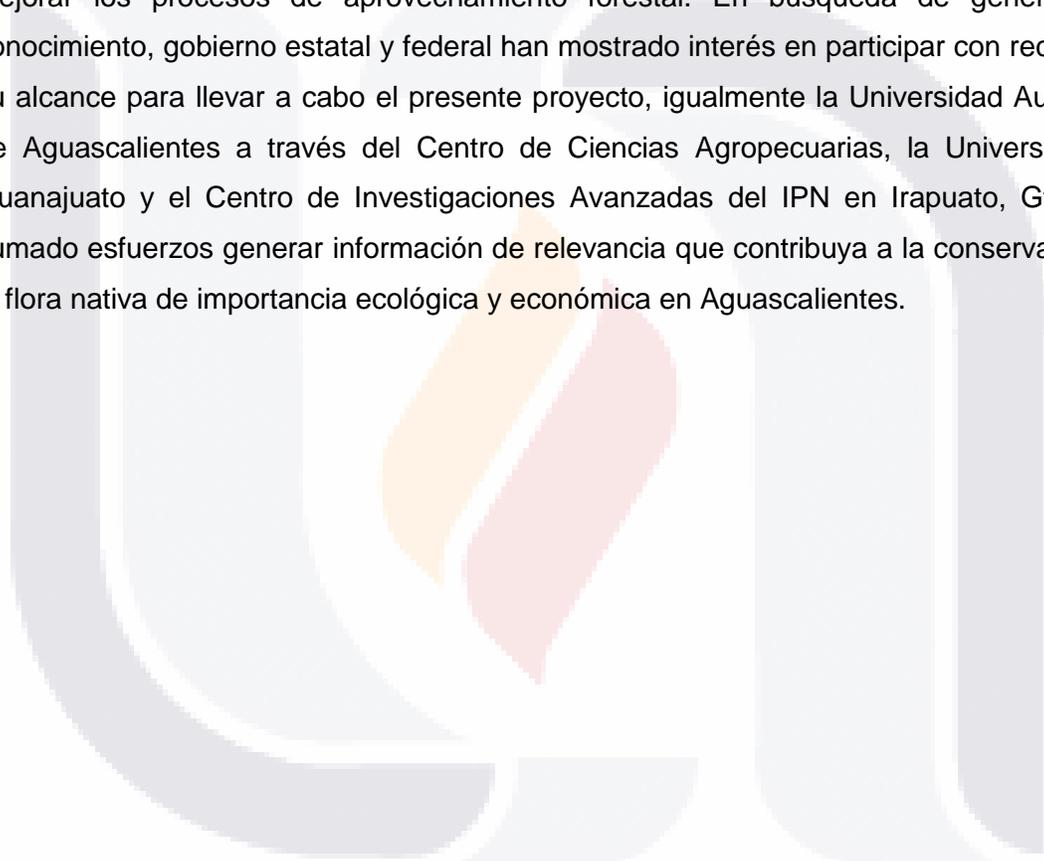
Se han hecho esfuerzos para realización de programas de reforestación con especies nativas como el mezquite (*Prosopis spp*), que por su capacidad de crecimiento y usos diversos, representa una opción viable para la recuperación de sitios áridos y semi-áridos.

Los programas gubernamentales han hecho esfuerzos, principalmente por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) para reforestar áreas degradadas con planta nativa. En el caso de Aguascalientes, se han implementado plantaciones con *Prosopis laevigata*, así como caracterizado lugares de colecta de semilla dentro del mismo estado. Actualmente la misma CONAFOR cuenta con un banco de germoplasma proveniente de estos sitios. El problema es que solo se conoce el árbol semillero y/o quizá el rodal de procedencia, pero se desconoce el árbol polinizador por lo cual la selección solo se basa en el 50% de las características deseables esperadas en la progenie. La falta de información sobre el árbol polinizador puede ocasionar que las plantaciones forestales para conservación o aprovechamiento forestal resulten poco uniformes y carentes de propiedades deseables.

Se han identificado en Aguascalientes algunas áreas potenciales para obtener fuentes de germoplasma, con diferencias morfológicas contrastantes entre árboles del mismo sitio y entre arboles de diferentes sitios. Para poder verificar si las diferencias morfológicas entre arboles de diferente sitio están bajo control genético se requieren estudios sobre la

interacción entre genotipo y medio ambiente y heredabilidad de los caracteres de interés para la selección de árboles semilleros.

El conocimiento de la diversidad morfológica y genética del mezquite, y su distribución geográfica en Aguascalientes, así como el grado de fidelidad de las progenies con árboles semilleros, permitirá a los gobiernos y productores realizar programas más efectivos de reforestación para conservación de recursos naturales, como suelo, agua y biodiversidad; igualmente los productores pueden tener información de mayor precisión y control para mejorar los procesos de aprovechamiento forestal. En búsqueda de generar este conocimiento, gobierno estatal y federal han mostrado interés en participar con recursos a su alcance para llevar a cabo el presente proyecto, igualmente la Universidad Autónoma de Aguascalientes a través del Centro de Ciencias Agropecuarias, la Universidad de Guanajuato y el Centro de Investigaciones Avanzadas del IPN en Irapuato, Gto., han sumado esfuerzos generar información de relevancia que contribuya a la conservación de la flora nativa de importancia ecológica y económica en Aguascalientes.



I. MARCO TEÓRICO

1.1 Desertificación y degradación de ecosistemas.

Los ecosistemas áridos cubren alrededor del 47.2% de la superficie continental terrestre, cerca de 6.15 billones de hectáreas (Bha), donde una de las regiones en donde predomina este ecosistema se ubica en el suroeste de Estados Unidos y México. Debido a las vastas áreas y la importante cantidad de carbono en suelo, las tierras áridas tienen un fuerte impacto en el ciclo global del carbono. Sin embargo, la degradación y desertificación son penetrantes en estas regiones, a menudo resultando en emisiones de CO₂ hacia la atmósfera, así como también otros disturbios ambientales (Lal, 2003).

Estos ambientes son más propensos a la degradación, que gradualmente lleva a la desertificación, misma que Lal (2003) la define como degradación de tierras en áreas áridas, semi-áridas y secas sub-húmedas, como resultado de variaciones climáticas y actividades humanas.

El sector forestal y otros sectores tienen un impacto en el uso de las tierras por causa de la deforestación, la degradación de los bosques y otros cambios en donde se desarrollan sus actividades. Estos sectores representan el 17% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), de donde 5.8 gigatoneladas (Gt) corresponden a bióxido de carbono (CO₂) al año. Tales emisiones se originan, principalmente, en países tropicales en desarrollo (IPCC, 2007).

Los cambios de uso de suelo impuestos por las actividades humanas representan la principal fuerza impulsora detrás de la pérdida actual de biodiversidad a nivel global (Aguilar y col., 2012). Particularmente durante las últimas cuatro décadas, las tierras agrícolas han ganado casi 500 Mha de otros usos de suelo, un cambio llevado por el incremento de la demanda de alimento de una población creciente. Cada año durante este periodo, un promedio de 6 Mha de bosque y 7 Mha de otro suelo fueron convertidos a agricultura, un cambio ocurrido con mucha frecuencia en países en desarrollo. Esta tendencia se proyecta continuar en el futuro, y se proyecta que otros 500 Mha adicionales serán convertidos en agrícolas durante 1997-2020, mayormente en América Latina y África del sub-Sahara (IPCC, 2007).

Además de la pérdida de vegetación por el cambio de uso de suelo, existe una contribución directa a los GEI al realizar la remoción del suelo forestal ya que el CO₂ es altamente liberado por la microbiota muerta o quema de hojarasca y materia orgánica del suelo. El metano (CH₄) se produce cuando los materiales orgánicos se descomponen en condiciones anaerobias. El óxido nitroso (N₂O) es generado cuando la transformación microbiana de nitrógeno en el suelo es a menudo incrementado cuando el nitrógeno disponible excede los requerimientos de la planta, especialmente en condiciones de saturación de agua (IPCC, 2007).

Los ambientes áridos y semiáridos contienen alta diversidad de especies relativamente que disminuyen con el incremento de la aridez. El pastizal y matorral mexicano contienen cerca de 6,000 especies de plantas (20% de la flora total de México). Los recursos bióticos y abióticos de estos ambientes son escasos y distribuidos irregularmente durante todo el año, dependen mayormente de los temporales. Debido a que las condiciones ambientales son muy variables, la productividad neta del sector primario es baja (6,000-40,000 kg/ha) y la distribución y abundancia de niveles tróficos más altos son limitadas. Por esta diversidad de especies relativamente alta, hay una creciente preocupación en la conversión de los ambientes áridos que, por instancia, puedan llevar a la desertificación con una consecuente pérdida de diversidad de especies (Hueneke and Noble, 1996 en Golubov, y col., 2001).

Una seria amenaza radica en la gran destrucción de bosques naturales de mezquite, debido a su corte para leña o carbón o desmonte para apertura de áreas para la agricultura. Pero sin riego o cosecha de agua, los campos desmontados son a menudo abandonados en dos años o tres (Medellin y Gómez, 1979 en Silbert, 1996). Como ejemplo, un proyecto Canadiense/Mexicano desmontó mezquite en 1986 para “reforestar” un área con ciprés (*Cupressus* spp.), algarrobo europeo (*Ceratonia siliqua*) y casuarina (*Casuarina equisetifolia*). De las especies escogidas, ninguna ofreció la calidad de leña del mezquite y solo una tuvo buen valor forrajero (algarrobo) (de la Cruz 1987 en Silbert, 1996). Las especies se adaptaron pobremente al sitio y solo unos pocos juveniles quedaron 18 meses después de la plantación.

La tala indiscriminada y destrucción de bosques de algarrobo (mezquite), es un vivo y triste ejemplo no sólo del deterioro ambiental, sino de un aumento de marginalidad y

pobreza, migración de poblaciones, ataque a los derechos de las comunidades aborígenes con la desaparición de culturas y el terrible avance del desierto (Palacios y Brizuela, 2005).

La invasión de mezquites a pastizales desérticos es parcialmente debido al manejo inadecuado de ambientes áridos y pastizales (Smeins, 1983 en Golubov y col., 2001). La pérdida de pastizales productivos por matorrales parece no estar relacionada con fluctuaciones climáticas, y la conversión es en gran parte atribuida a disturbios antropogénicos (Golubov y col., 2001). En relación a la fauna nativa en el Holoceno (roedores, pecarí y coyote) el ganado se ha vuelto un dispersor mucho más efectivo (Janzen, 1986; Brown y Archer, 1987), acoplado con pastoreo prolongado del ganado y altas intensidades de pastoreo han causado el incremento doble de la cobertura en pastizales (Glendening, 1952; Buffington and Herbel, 1965 en Golubov y col., 2001). Estos pastizales se han desmontado frecuentemente a favor de especies de pastos introducidos que a menudo afectan la estructura y funcionamiento del ecosistema (Fleischner, 1994; Pierson and McAuliffe, 1994 en Golubov y col., 2001). Además, el desmonte de mezquite no resulta en respuestas favorables a largo plazo para los pastos forrajeros (Holecheck y col., 1994 en Golubov y col., 2001) y no parece disminuir la evaporación de agua (Dugas and Mayeux, 1991). Adicionalmente East y Felker (1993) compararon el crecimiento de pastos bajo copa de los árboles y fuera de éstas, encontrando que las correlaciones indicaron que la fertilidad del suelo es un factor más limitante en la producción de pastos que la intensidad de luz.

La fragmentación del hábitat y pastoreo de ambientes áridos han tenido costos ecológicos, incluyendo disrupción de la función ecosistémica, alteración de la estructura del ecosistema y pérdida de la diversidad de especies (Fleischner, 1994). Igualmente provoca los cambios de paisaje que pueden alterar interacciones mutualistas involucradas en reproducción sexual y dispersión de semillas y por esto, potencialmente afectar el éxito reproductivo y conectividad genética de las poblaciones remanentes (Aguilar y col., 2012).

En muchos países en desarrollo en el mundo, como India, los bosques están bajo presión intensiva de utilización, resultando en el deterioro de recursos genéticos, desertificación y desestabilidad ecológica. La forestación de tierras degradadas ha ganado un inmenso interés con el fin de enfrentar las necesidades básicas de combustible, forraje y otros

productos no maderables para las comunidades rurales y para rehabilitar los estatus de fertilidad de estas tierras para desarrollo sustentable. Sin embargo, a pesar de los intensos esfuerzos y entradas, se ha alcanzado un éxito limitado en la mayoría de los programas de plantación debido a que el germoplasma usado tiene una base muy estrecha y no identificada (Goel y Behl, 2001).

En México, la remoción de árboles para madera y agricultura, y el pastoreo extensivo de ganado caprino y bovino ha reducido la vegetación natural y la materia orgánica del suelo en grandes extensiones del altiplano mexicano (3×10^6 ha⁻¹), llevando al gasto, erosión y pérdida completa del suelo (Reyes-Reyes y col., 2003).

En todo el estado de Aguascalientes predominan las condiciones favorables para el proceso de la erosión ocasionada por el viento y la lluvia que han llegado a producir pérdidas de suelo de hasta 140 ton/ha/año por erosión eólica y entre 25 a más de 125 ton/ha/año por erosión hídrica en diferentes partes de la entidad. Esta degradación es el resultado del manejo inadecuado y excesivo que se ha hecho de los recursos naturales a través del tiempo. Así mismo la poca importancia que se le ha dado a las interrelaciones de los elementos propios que identifican los ecosistemas locales y su relación con la biodiversidad (La biodiversidad en Aguascalientes: estudio de estado 2008).

1.1 Mitigación

Existen prácticas que pueden mitigar la emisión gases de efecto invernadero (GEI) por el sector agrícola, con muchas prácticas afectando más de un gas de efecto invernadero por más de un solo mecanismo. Estas prácticas incluyen: manejo de cultivos; manejo y mejora de pastoreo; manejo de suelos agrícolas orgánicos; restauración de suelos degradados; manejo de ganado; y producción de bio-combustibles (IPCC, 2007). En este sentido, este trabajo se centra en el manejo y la restauración de suelos degradados, en la que una de las principales actividades es la reforestación. La repoblación forestal (*afforestation* en Inglés), es una importante estrategia de restaurar suelos degradados y ecosistemas. Con 47.2% de la tierra continental cubierta por ecosistemas áridos, la conversión a un uso de suelo apropiado, restauración de suelos desertificados y degradados y una adopción de prácticas de manejo recomendadas se puede mejorar la cantidad de reserva de carbono terrestre, llevando al incremento tanto en carbono en biomasa como en reservas de carbono orgánico en suelo (Lal, 2002).

La reforestación con *Prosopis* es usada intensivamente en todo el mundo como control de desertificación de tierras áridas y semi-áridas, debido a su alta adaptabilidad para condiciones áridas. Siendo un árbol multipropósito, controla erosión de suelo, estabiliza dunas de arena, mejora la fertilidad del suelo, reduce salinidad del suelo, fuente de combustible, alimento forrajero, madera para construcción y elaboración de muebles, alimento para humanos y auxiliar en la producción de miel de abeja (Zare y col., 2011).

Golubov y col., (2001) sugieren valorar la relativa importancia de la interacción de especies en estos ambientes en sentido de cuantificar los costos ecológicos de fragmentación y conversión con el objeto de proponer estrategias de manejo y conservación, puntualizando el rol de *Prosopis* spp en el funcionamiento del ecosistema; subraya en su trabajo la importancia del mezquite para muchas especies y proponemos su conservación como medidas de mantenimiento de diversidad de especies en ambientes áridos.

1.2 Importancia económica del mezquite

En muchas áreas de México semi-árido y suroeste de Estados Unidos, las vainas de mezquite constituían una gran porción de la dieta de los indígenas. Los Chichimecas, un grupo cazador – colector que habitó las tierras altas de San Luis Potosí, contaron con vainas y miel de mezquite como dos de los principales componentes de su dieta (Galindo, 1983 en Silbert, 1988). El fruto de mezquite se consume fresco, hervido en su jarabe o preparado como una harina dulce (pinole), dulce seco (queso), una bebida hervida en agua o leche con maíz (atole), y ocasionalmente como una bebida alcohólica (Galindo, 1988 en Silbert, 1986). En 1970, en San Luis Potosí, el valor comercial total de las vainas sobrepasaron el de los productos de madera de mezquite por 70 veces. Estos datos indican que las vainas fueron, y pueden seguir siendo más importantes económicamente que la madera en al menos siete de ocho estados estudiados (Silbert, 1988).

En estudios de productividad del fruto de mezquite, la cosecha de mezquite, comparado con otros cultivos de temporal (maíz y frijol), fue el único costo incurrido para la producción de mezquite y el costo se basó en un promedio conservativo de 1,400 kg/ha de producción de vaina y una proporción estimada de cosecha de 20 kg/vaina/hora de costo de cosecha. La cosecha de mezquite, la cual requiere colecta, pero no corte ni recolecta, demanda menor esfuerzo por hectárea que la cosecha de maíz o frijol. Esta

estimación conservativa, muestra que la producción de mezquite genera arriba de dos veces de ganancia a campesinos por hectárea que frijol de temporal y mucho más que maíz de temporal, que tiene un valor negativo para un promedio de cinco años. El mezquite produjo solo 32% más ganancias que en maíz de riego y 15% más que frijol de temporal. También proporciona beneficios sin contar en esta comparación la producción de leña, forraje, miel, sombra y rompevientos (Silbert, 1996).

Aparte de sus usos para vaina y madera, el mezquite se considera como una planta valiosa para producción de miel (Martin, 1985 en Silbert, 1988). Varias partes del árbol han sido usadas para propósitos medicinales (Galindo, 1983 en Silbert 1996). Juega un rol importante en la provisión de alimento y protección a una gran variedad de aves, roedores, mamíferos mayores e insectos. La industria ganadera es un mercado obvio para las vainas de mezquite (Schuster, 1969 en Silbert, 1996).

Se estima que la producción anual de vaina en el Altiplano Potosino varía de 4 a 50 kg/árbol y de 200 a 2200 kg/ha, en densidades de 25 a 445 árboles/ha; sin embargo se considera que solo el 15% de los árboles producen cantidades apreciables de vaina. Esto puede mejorar bajo ciertas técnicas (selección genética y plantación de individuos superiores, aclareos y manejo del rodal) para incrementar los rendimientos de la vaina por hectárea (Maldonado-Aguirre y col., 2000).

1.3 Ecología del mezquite

Existen especies apropiadas que contribuyen a mejorar suelos, ya que aportan a enriquecer la fertilidad del suelo y la biomasa. Hay numerosas especies de árboles adaptadas a ecosistemas áridos, entre estos el mezquite. Las especies de *Prosopis* juegan un rol muy importante en los ecosistemas áridos y semiáridos, que es donde principalmente se distribuye, ya que ha sido útil en el secuestro de carbono orgánico en suelo y especialmente en la recuperación de suelos afectados por salinidad (Lal, 2003). La utilidad de establecer especies como las de *Acacia* sp o *Prosopis* sp en secuestro de carbono orgánico en suelo ha sido demostrado en el oeste de Estados Unidos (Connin y col., 1997). Adicionalmente, en estos ecosistemas la residencia de carbono en suelo es mayor debido a que la tasa de descomposición es más lenta que en los ambientes húmedos (Lal, 2003).

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Estudios sobre fauna silvestre asociada con leñosas, reconocen la importancia de estas plantas en hábitats áridos y semi-áridos como en el sur del desierto Chihuahuense, en marzo, *Prosopis glandulosa* y *Opuntia* spp son las únicas plantas dominantes productoras de abundantes flores, polen y néctar. Mientras solo siete géneros de abeja visitan flores de *Opuntia* spp. (Mandujano y col., 1996 en Golubov y col., 2001), al menos 20 géneros visitan flores de *P. glandulosa* (López- Portillo y col., 1993; Golubov y col., 1999 en Golubov y col., 2001). Otros han resaltado el cambio de comunidades de aves después de la remoción de mezquites, ya que todos mostraron un incremento en la diversidad de especies con la presencia de mezquites que cuando se compararon con pastizales con ausencia de estos (Germano and Hungerford, 1981 en Golubov y col., 2001).

Además de animales, una diversa flora puede encontrarse creciendo debajo de ellos, incluyendo muchos cactus y pastos. Así, los mezquites, como otras plantas perenes de ambientes áridos y semi-áridos, pueden funcionar como plantas vivero por facilitación pasiva, proporcionando nutrientes como carbono (C) y nitrógeno (N), temperaturas más bajas, mayor humedad y diferentes microtopografías bajo sus copas (Tiedemann and Klemmedson, 1973). La acumulación de nutrientes del suelo como en las islas de fertilidad debajo de las plantas leñosas es común en regiones áridas y semi-áridas no forestadas. Como resultado, la dispersión de plantas leñosas en terrenos dominados anteriormente por herbáceas en el último siglo, pudo haber contribuido 20-55% de todo el carbón secuestrado en los ecosistemas terrestres de E.E.U.U. en las recientes décadas (McClaran y col., 2008). Los mezquites también proporcionan condiciones favorables para herbáceas nativas, plantas efímeras y perenes bajo sus copas que son palatables tanto para ganado como animales silvestres (Cornejo-Oviedo y col., 1992 en Golubov y col., 2001; Nolte y Fulbright, 1997). Luna-Suárez y col. (1998) encontraron que leguminosas como las del género *Prosopis* afectan positivamente la actividad biológica en suelo, incrementando el contenido de carbono orgánico e inorgánico significativamente en suelo que se encontraba debajo de la copa de estos árboles. Las grandes cantidades de nitrógeno (2500 kg NO₃ ha⁻¹) asociado a la descomposición de hojarasca supera los procesos de desnitrificación bajo las copas de mezquite (0.5 kg N ha⁻¹) (Virginia y col. 1982, 1983 en Golubov y col., 2001). Dada la escasez de N en ambientes áridos y semi-áridos, la gran cantidad de N fijado por *Prosopis* (45-150 kg ha⁻¹año⁻¹) lo hace un gran contribuyente al balance neto de N de estos ambientes (Johnson and Mayeux, 1990 en Golubov y col., 2001). Por lo general, las propiedades del suelo bajo los mezquites han

probado favorecer la infiltración de agua, evadiendo sellamiento del suelo después de lluvias fuertes (Virginia y Jarrell, 1983 en Golubov y col., 2001). En adición, la alta cantidad de hoja tirada al suelo acoplada con descomposición subsecuente y un ambiente bajo en lixiviados encontrados bajo la copa de mezquites, proporciona una acumulación de CA and Mg (Virginia and Jarrel, 1983 en Golubov y col., 2001).

La constancia fenológica de las especies de *Prosopis* es en parte debido a una variedad de adaptaciones para evitar estrés hídrico (sistema radicular freatófítico, superficie foliar glabra, desacople de transpiración con las condiciones atmosféricas, tamaño foliar), que le permite un escape de la impredecible temporal y espacial precipitación. Lo que amortigua a los mezquites contra estocasticidad ambiental, permitiéndoles crecer y reproducirse en las temporadas más secas, proporcionando recursos para organismos que pueden alimentarse de su néctar, polen, hojas, corteza y frutos (Simpson y col., 1977 en Golubov y col., 2001).

Algunas especies de *Prosopis* como *P. juliflora*, que tiene su origen en los trópicos del Caribe, México, Venezuela y Perú han sido introducidas prácticamente en todas las zonas áridas del mundo. En 1877 fue introducido *P. juliflora* en la India; para 1940 fue declarado “Planta Real”, exhortando a protegerlo y promoviendo plantaciones en gran escala con esta especie (Muthana y Arora, 1983), mientras que en Sudán y Australia es oficialmente clasificada como una hierba perjudicial, prohibiendo su propagación (Albán y col. 2002).

Los mezquites son plantas arbóreas o arbustivas distribuidas en las zonas áridas, semi-áridas y subtropicales de diferentes regiones de la superficie continental. Pertenecen a la familia Leguminosae, subfamilia Mimosoideae y al género *Prosopis*, que incluye cerca de 40 especies, (Hernández, 2000). *P. laevigata*, es la de mayor distribución y abundancia en el centro de la república, representa la de mayor importancia económica. (Hernández, 2000). *Prosopis* involucra 44 especies agrupadas en cinco secciones: *Prosopis* y *Anonychium*, distribuidas en África y Asia; *Strombocarpa* y *Algarrobia*, distribuidas en Norte y Sudamérica; y la sección monotípica *Monilicarpa*, restringida a Argentina (Bessega y col, 2005).

Prosopis “mezquite” se encuentra en el fondo del Valle (de México) y en las laderas bajas, entre 2250 y 2400 m de altitud en sitios con pastizal y matorral. Se ha colectado en la Sierra de Guadalupe y en la delegación de Xochimilco. Fuera de la región de estudio

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

(Valle de México) se conoce de Durango, San Luís Potosí y Tamaulipas a Oaxaca. Fue conocida anteriormente como *P. juliflora* (Swartz) DC., nombre que, según Johnston, debe ser asignado a la especie que se distribuye a lo largo de la costa del Pacífico desde Sinaloa a Centroamérica, Colombia y Venezuela, así como en las Antillas, (Rzedowski y Rzedowski, 2001). En muchas de estas especies es comprobado el amplio rango de tolerancia a condiciones climáticas y edáficas limitantes, lo que inclusive les ha conferido un carácter de agresividad en áreas de agostadero, (Hernández, 2000).

En la mayoría de las regiones áridas, el mezquite se presenta generalmente en forma de arbusto y solo cuando tiene un buen suministro de agua se desarrolla en forma arbórea; crece mejor en las vegas de los ríos y en los valles de suelo profundo, o en lugares con capas freáticas altas; en ocasiones es la planta más característica en kilómetros a la redonda formando verdaderos bosques denominados “mezquiales.” *P. laevigata* var. *laevigata* es el mezquite típico del Centro de México, es la especie dominante en San Luis Potosí así como en el centro y sur de Tamaulipas. Se distribuye en las isoyetas de 300 a 900 mm. y en altitudes hasta de 2300 msnm, principalmente entre los 1800 y 1900; se presenta en forma de árboles con alturas de 6 a 7m, así como arbustiva de 2 a 3m; de su madera se fabrican puertas, muebles y carretas. Así mismo, es utilizado para combustible y sus frutos se usan intensivamente como forraje para ganado; el fruto también es consumido como alimento por los habitantes de la región. El sistema radicular del mezquite depende del tipo de suelo y de la profundidad de penetración de la humedad. Los mezquites jóvenes desarrollan una fuerte raíz pivotante, generando posteriormente el sistema radicular lateral (Maldonado-Aguirre y col., 2000).

1.4 Selección de Germoplasma y Genética de las poblaciones de mezquite.

La cantidad de progenie producida en un evento reproductivo por individuos de plantas creciendo en hábitats fragmentados, es un importante parámetro demográfico ya que define el potencial máximo de reclutamiento de la población para la próxima generación. Sin embargo otra característica importante que determina el reclutamiento de poblaciones es la calidad biológica de esas progenies. La cual puede estar principalmente determinada por efectos maternos y los niveles de entrecruzamiento en un evento reproductivo dado.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

El objetivo inmediato de cualquier programa de mejora de árboles, particularmente en sitios degradados, es identificar especies/proveniencias prometedoras y genotipos, los cuales proporcionan un rendimiento máximo por unidad de área en el tiempo más corto posible. Puede lograrse monitoreando las variaciones genéticas intra-específicas y por selección. El germoplasma seleccionado necesita ser clonado y conservado en jardines clonales vegetativos para producción de semilla de calidad (Goel y Behl, 2001).

Un claro entendimiento de la estructura genética de las poblaciones silvestres, es urgentemente necesario para establecer programas de reforestación bajo un sistema apropiado para controlar la explotación de éste género. Es complicado establecer una clasificación taxonómica de *Prosopis*, porque las similitudes altamente morfológicas encontradas entre ciertas especies y la hibridación interespecífica que crea fenotipos intermedios (Juárez-Muñoz, y col., 2002).

Para el manejo de especies prometedoras se requiere información acerca de parámetros genéticos, principalmente heredabilidad (h^2) de rasgos económicos cuantitativos. La heredabilidad es tradicionalmente estudiada de pruebas de progenie o análisis *half-sib* conducidas en áreas experimentales. La estimación tradicional es difícil obtener en poblaciones naturales de especies forestales tales como aquellas que pertenecen al género *Prosopis* debido a que tienen un ciclo de vida largo, traslape de generaciones, y un sistema mezclado de cruce y se carece de información genealógica. Adicionalmente en *Prosopis*, las cruces controladas se dificultan en la práctica debido al tamaño pequeño y gran número de flores por inflorescencia. Si se dispone de información de pedigrí, la heredabilidad puede ser estimada comparando la variación fenotípica dentro y entre grupos familiares.

Alternativamente, métodos basados en marcadores moleculares han sido propuestos para obtener estimados indirectos de relaciones y heredabilidad. En los últimos años, marcadores moleculares dominantes tales como fragmentos amplificados de longitud polimórfica (AFLP) o repeticiones de secuencias inter-simples (ISSR) han sido muy usadas ya que pueden mostrar un mayor número de loci polimórficos en una corrida sencilla y no se requiere conocimiento previo del grupo marcado estudiado (Bessega y col., 2011).

La técnica de AFLP está basada en la detección de fragmentos de restricción genómica por amplificación de la PCR y puede ser usada para DNAs de cualquier origen o complejidad. Las impresiones son producidas sin el conocimiento de una secuencia previa usando un conjunto limitado de *primers* genéricos. El número de fragmentos detectados en una simple reacción puede ser “afinada” por la selección de conjuntos de *primers* específicos (Vos y col, 1995). El sistema de marcadores AFLP tiene la proporción más alta de todos los sistemas de marcadores basados en PCR. Más de 100 fragmentos de restricción pueden ser amplificados simultáneamente, que lo hace el método más eficiente para generar un gran número de marcadores de DNA anónimo para el uso de linajes genéticos y estudios de diversidad (Myburg *et al.*, 2001).

La técnica de AFLP ha sido ampliamente adoptada debido a su sencillez y la cantidad de datos obtenidos en un tiempo relativamente corto. Ha sido usada para evaluación de diversidad genética, construcción de mapas o árboles de linaje y análisis de perfiles de genes en varios genomas. Un análisis típico de AFLP consiste de cinco pasos principales. El primero es una digestión de restricción en el cual el ADN genómico es cortado por dos enzimas de restricción (*EcoRI* y *MseI*) para generar pequeños fragmentos de ADN. Enseguida se hace una ligación en la cual los adaptadores de doble cadena del ADN son ligados a los extremos de los fragmentos restringidos de ADN para generar plantillas para amplificación. El tercer paso consiste en una pre-amplificación en la cual dos cebadores (*primers*), complementarios a los extremos ligados al adaptador con un nucleótido pre-seleccionado en el extremo 3', son empleados para amplificar regiones flanco que contienen el sitio de enlace y el sitio de restricción. El cuarto paso es una amplificación selectiva en la cual los *primers* selectivos, con 1 a 3 nucleótidos adicionales en el extremo 3', son utilizados para amplificar subconjuntos de plantillas pre-amplificadas. En el quinto paso, los productos de amplificación selectiva son separados por electroforesis en gel de poliacrilamida.

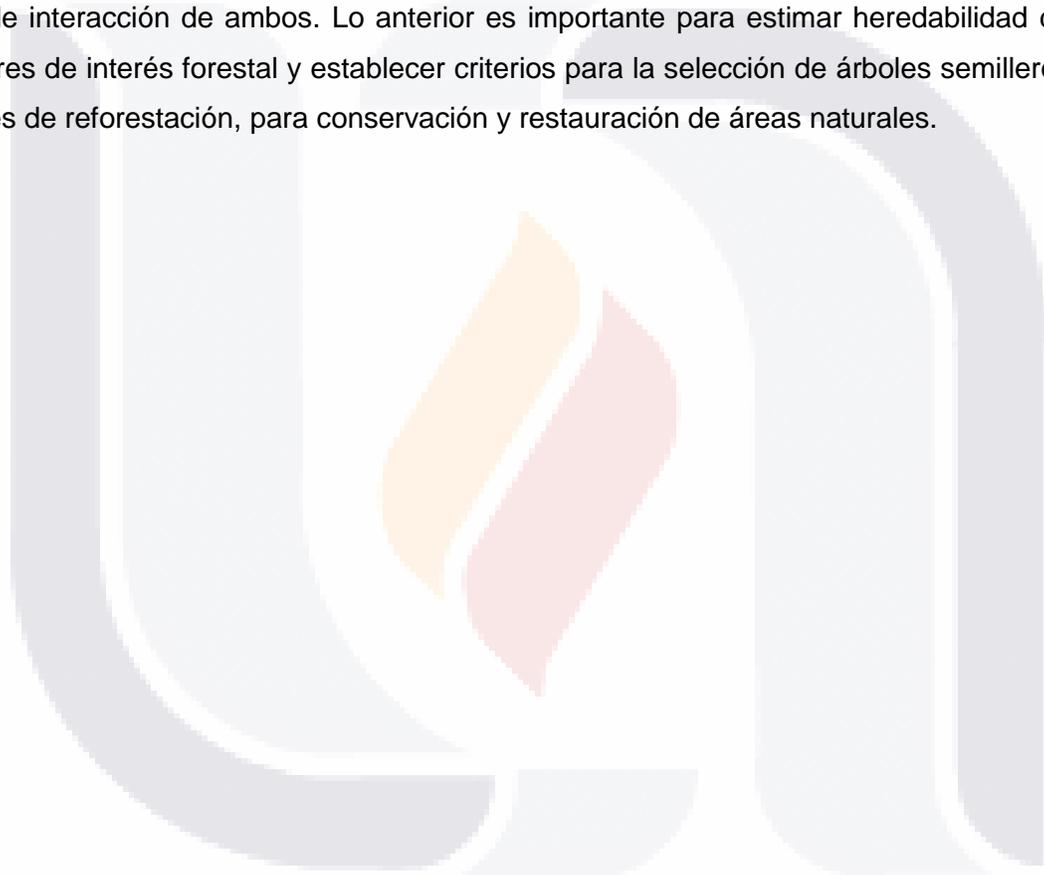
En nuestro país a pesar de ser un recurso vegetal de amplia distribución y utilidad, el mezquite poco ha merecido la atención de los sectores oficiales y de investigación, lo cual se ve reflejada en una escasa literatura sobre el tema, contrastando con lo generado en países como Argentina, Brasil, Chile, India, Estados Unidos, donde se han abordado aspectos como taxonomía, ecología, productividad y otros.

Algunas instituciones han iniciado tareas de recolección, conservación y evaluación del germoplasma de las especies de *Prosopis* consideradas promisorias, con el propósito de identificar procedencias sobresalientes para planes de forestación y reforestación, (Palacios y col., 2000).



II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Existe gran variabilidad morfológica entre los mezquites del estado, el cual a su vez presenta rodales bajo diferentes condiciones geográficas y topográficas en los municipios del mismo estado. En este sentido, la información disponible sobre diversidad/variabilidad genética es poca o nula y no se ha realizado a la fecha un estudio sistemático sobre variabilidad morfológica en el estado de Aguascalientes, por lo que se desconoce si la diversidad observada está bajo control genético o se debe a efectos ambientales o cierto grado de interacción de ambos. Lo anterior es importante para estimar heredabilidad de caracteres de interés forestal y establecer criterios para la selección de árboles semilleros con fines de reforestación, para conservación y restauración de áreas naturales.

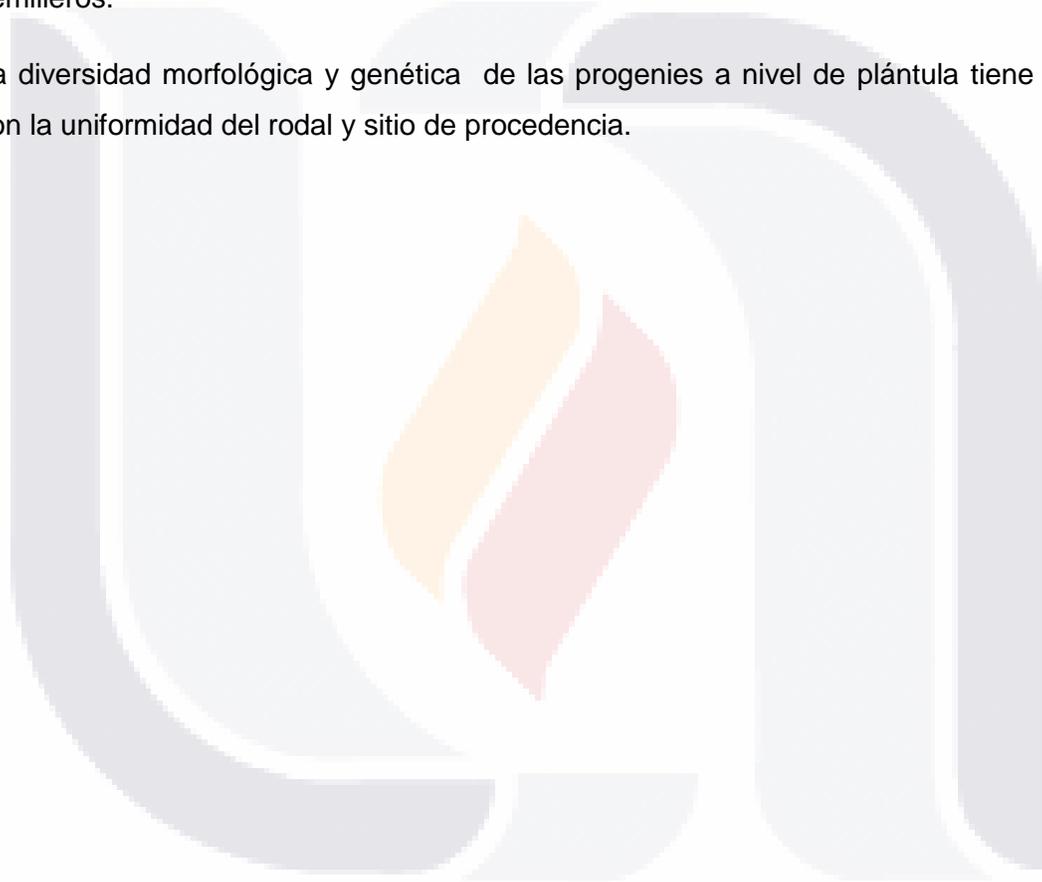


III. HIPÓTESIS

Las características morfológicas de interés para reforestación en las progenies de árboles semilleros, varían según la morfología del árbol semillero, la uniformidad del rodal y la calidad de sitio de procedencia.

Los índices de diversidad morfológica y genética en progenies de árboles semilleros a nivel de plántula, pueden ser explicados por los índices de diversidad en árboles semilleros.

La diversidad morfológica y genética de las progenies a nivel de plántula tiene relación con la uniformidad del rodal y sitio de procedencia.



IV. OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar la diversidad genética y morfológica de árboles semilleros y progenies de mezquites procedentes de diferentes ecorregiones del estado de Aguascalientes.

Objetivos específicos

1. Caracterizar morfológica y genéticamente árboles semilleros de diferentes procedencias en el estado, calificar la uniformidad del rodal de mezquites y determinar la calidad del sitio de procedencia.
2. Evaluar las progenies derivadas de árboles semilleros a partir de caracteres morfológicos y genéticos a nivel de plántula.
3. Calcular y correlacionar índices de diversidad (morfológica y genético-molecular) entre árboles semilleros y sus progenies y analizar los efectos de calidad de sitio y la uniformidad del rodal.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Caracterización de sitios, rodales

5.1.1 Sitio

Se realizaron visitas para identificar y caracterizar cuatro sitios en Aguascalientes representativos de poblaciones conservadas de *Prosopis laevigata*, libres de plagas y enfermedades y con árboles en plena edad reproductiva, en lugares con poca pendiente y a más de 50 metros de caminos o carreteras. Con los criterios anteriores se identificaron los siguientes cuatro rodales y sitios para el estudio:

Clima (precipitación y temperatura)

Para cada sitio se consultaron datos de precipitación y temperaturas medias anuales de la estación meteorológica más cercana. Para ello se consultaron las estaciones de Aguascalientes pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional de la CONAGUA, y a la Red Nacional de Estaciones Agroclimáticas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Suelos

En cada sitio se tomaron ocho muestras de suelo provenientes de cuatro árboles semilleros previamente seleccionados y etiquetados. Las muestras de suelo se obtuvieron de manera sistemática, una del área bajo la copa del árbol y otra del área fuera de la copa del mismo árbol. Las muestras bajo la copa se mezclaron para conformar una muestra compuesta del sitio. Lo mismo ocurrió con las muestras obtenidas fuera de copa. De esta manera se conformaron dos muestras compuestas por sitio, una representativa del suelo bajo la copa y otra representativa del suelo fuera de copa. Las ocho muestras compuestas obtenidas de los cuatro sitios fueron enviadas al laboratorio de suelos de la UAA para determinar las siguientes variables indicadoras de fertilidad del suelo: materia orgánica, carbono orgánico, pH, conductividad eléctrica y textura (porcentaje de arcilla, arena y limo).

5.1.2 Caracterización de rodales

En cada uno de los cuatro rodales o sitios se estimó la abundancia de árboles de mezquite y vegetación asociada. Para ello se realizó un muestreo por sitio mediante tres

transectos de 100 metros cada uno. En cada transecto se registró el número de árboles de mezquite y de plantas asociadas con las plantas de mezquite.

La información de cada rodal se utilizó para estimar la densidad de árboles de mezquite por hectárea.

5.2 Selección y caracterización de árboles semilleros

Selección de árboles semilleros

En cada sitio, se identificaron 10 árboles semilleros con las mayores alturas, coberturas de la copa, grosor del fuste, además con la forma más erecta posible y menor susceptibilidad a la presencia de heno (*Tillandsia recurvata*). Lo anterior se realizó mediante recorridos por los predios de cada localidad para identificar los árboles con características deseables y de interés forestal (altura, diámetro de fuste a la altura del pecho (DAP) y diámetro de cobertura de copa). Todos los arboles seleccionados fueron marcados con aerosol color naranja y se tomó una fotografía de cada árbol marcado.



Figura 1. Se ejemplifica el muestreo en sitios rectangulares, donde a partir del árbol semillero se mide un rectángulo de 20 m x 50 m.

5.2.1 Caracterización morfológica de árboles semilleros

Los sitios y arboles seleccionados en las cuatro localidades fueron visitados de enero a mayo de 2013 para observar y registrar datos de fenología. Luego de agosto a noviembre del mismo año se realizaron visitas para observar y registrar datos sobre producción de vaina. Para cada árbol marcado se registraron los datos de altura total con un clinómetro marca Haglof. El DAP y la cobertura de copa fueron obtenidos con un flexómetro Trupper de 25 metros. La longitud de la pina fue determinada con un vernier Pretul, al igual que el ancho de la pina, longitud del peciolo, longitud y ancho del foliolo

(mm), longitud de la vaina (mm), y ancho de la vaina (mm). Además se registró el número de foliolos por pina, y se contó el número de semillas por vaina.

Colecta y caracterización de vainas maduras de cada uno de los árboles

Se colectaron entre 30 y 40 vainas maduras en diferentes partes en la copa de cada uno de los árboles seleccionados como semilleros. Las vainas de cada árbol se depositaron en un recipiente previamente etiquetado para su traslado al laboratorio. Las vainas fueron sometidas a un proceso de limpieza, separando la semilla (Villegas-Espinosa y col. 2010).

Para cada árbol se registraron datos de longitud de vaina, número de semillas por vaina, así como ancho y longitud de semilla.

5.2.2 Caracterización genética-molecular de árboles semilleros

Colecta de tejido foliar en campo

De cada árbol semillero seleccionado se colectaron hojas jóvenes para lo cual se usó un bisturí desinfectado con alcohol entre cada muestra y utilizando guantes de látex. Las muestras de tejido foliar (aprox. 1.5 cm³) fueron almacenadas con sílica gel en tubos Falcon con taparosca. Todos los tubos fueron etiquetados con datos del individuo, fecha y lugar de colecta.

Para garantizar la calidad del DNA, las muestras de tejido fueron secadas completamente dentro de las 24 horas posteriores a su recolección. Una vez secas, las muestras se congelaron con nitrógeno líquido antes de ser transportadas al laboratorio para procesamiento y análisis.

Desintegración y homogenización usando Sistema TissueLyser

Las muestras de tejido fueron colocadas en nitrógeno líquido para su congelamiento. En tubos para microcentrífuga de 2 ml, se colocó una perla de carburo de tungsteno, previo a la introducción de ≤ 100 mg de muestra por tubo. Se colocaron los tubos en los adaptadores del TissueLyser y se corrió la desintegración por 30 segundos a agitación en alta velocidad (20-30 Hz). La muestra preparada se observó como polvo.

Extracción de ADN

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Previo a la extracción de ADN, los buffer AW1 y AW2 se diluyeron con 25 y 40 ml de etanol 96% respectivamente y se puso una placa de calentamiento a 65°C. Para la extracción de ADN de cada muestra se siguieron los siguientes pasos:

1. Se añadieron 400 µl de Buffer AP1 y 4 µl de solución stock de RNasa A (100 mg/ml) a la muestra desintegrada, fue agitada en vortex vigorosamente, evitando grumos.
2. Se incubó la mezcla 10 min a 65°C, mezclando 2 a 3 veces durante la incubación invirtiendo el tubo.
3. Fueron adicionados 130 µl de Buffer P3 al lisado, se mezcló e incubó 5 min en hielo.
4. Se centrifugó a 12,000 rpm.
5. Se pipeteó el sobrenadante hacia una columna de centrifugado QIAshredder Mini, colocada en un tubo colector de 2 ml, y se centrifugó 2 min a 12,000 rpm.
6. Un volumen de 1.5 ml de sobrenadante del tubo colector se transfirió a un nuevo tubo de 2 ml, cuidando de no perturbar la pastilla de precipitado decantando el tubo (sin pipeta).
7. Se añadieron 750 µl de Buffer AW1 al lisado resultante del paso anterior y se mezcló inmediatamente pipeteando.
8. Se pipetearon 650 µl de la mezcla del paso anterior, incluyendo cualquier precipitado que pudiera haberse formado y se depositaron en una columna de centrifugado DNeasy Mini colocada en un tubo colector. Fue centrifugado por 1 min a ≥ 8000 rpm y se descartó el sobrenadante. El mismo tubo se reutilizó en el siguiente paso.
9. Con el remanente de muestra, se procedió a repetir el paso anterior. En este se descartaron el sobrenadante y el tubo colector.
10. La columna de centrifugación DNeasy Mini fue colocada en un nuevo tubo colector, se añadieron 500 µl de Buffer AW2 y se centrifugó por 1 minuto a 8000 rpm. El sobrenadante se descartó y se reutilizó el tubo en el siguiente paso.
11. Se añadieron 500 µ de Buffer AW2 a la columna de centrifugación DNeasy Mini y se centrifugó por 2 min a 12,000 rpm.

12. La columna de centrifugación DNeasy Mini se transfirió a un microtubo de 2 ml y se pipetearon 100 μ l de Buffer AE directamente sobre la membrana DNeasy y se incubó a temperatura ambiente (15-25°C), enseguida fue centrifugado por 1 min a 8000 rpm para eluir. Se repitió este paso una vez.

Análisis molecular con marcadores polimórficos tipo AFLP (Amplified fragment length polymorphism) probados en Prosopis por Palacios y col. (2012)

1. Preparación de la plantilla AFLP.

a. Digestión de restricción del DNA Genómico.

En un tubo de PCR en hielo se añadieron 2.5 μ l de buffer de reacción 5X, \leq 9 μ l de Plantilla DNA (100 ng en \leq 9 μ l), 1 μ l de mezcla de enzima *EcoRI/MseI* y se aforó a 12.5 μ l con agua desionizada.

Se mezcló lentamente, brevemente se centrifugó e incubó la mezcla a 37°C por 2 horas.

Se incubó la mezcla por 15 min a 70°C para inactivar las enzimas de restricción y colocar el tubo en hielo.

b. Ligación de adaptador.

En el mismo tubo sobre hielo, se agregaron 12 μ l de mezcla de Adaptador y 0.5 μ l de ligasa T4 DNA.

Se mezcló lentamente pipeteando. Brevemente fue centrifugada e incubada la mezcla a 20°C por 2 horas.

Después de la incubación, se realizó una dilución 1:10 de la mezcla de ligación transfiriendo 10 μ l de la mezcla a un nuevo tubo de microcentrífuga de 0.5 ml, agregando 90 μ l de buffer TE y se mezcló.

Se almacenó la porción no utilizada (15 μ l) de la mezcla de ligación a -20°C para reserva.

c. Pre-amplificación.

Sobre hielo, a un tubo de PCR se agregaron 2.5 μ l de mezcla de ligación diluida (1:10), 20 μ l de mezcla de cebador Pre-amp AFLP[®], 2.5 μ l de buffer de reacción PCR (10X) y 0.5 μ l de polimerasa Taq DNA (5 unidades/ μ l).

Se mezcló lentamente pipeteando. Se centrifugó brevemente y se tapó bien el tubo. Se colocó en el termociclador para incubación, siguiendo el siguiente

patrón: 30 segundos a 94°C, 1 minuto a 56°C y 1 minuto a 72°C por veinte ciclos, enseguida se mantuvo a 4°C.

Se realizó una dilución 1:40 pipeteando 5 µl de mezcla de ADN de pre-amplificación en un tubo de microcentrífuga y se agregaron 195 µl de buffer TE.

2. Amplificación selectiva AFLP®.

a. Preparación de reactivos

Mezcla de Trabajo de Taq DNA polimerasa (para 200 µl para 33 reacciones) .
158 µl de agua desionizada, 40 µl de buffer de Amplificación 10X y Taq DNA polimerasa (5 unidades/µl).

Mezcla Taq DNA polimerasa y cebador. Se combinaron 198 µl (=6 µl x 33) de Mezcla de Trabajo de Taq DNA polimerasa, 66 µl de solución de cebador M-CAC, 16.5 µl de cebadores IRDye 700 E-AAC y 16.5 µl de IRDye 800 E-AGG en un tubo de 1.5 ml. Se mezcló lentamente, centrifugó brevemente y se colocó sobre hielo, cubriendo el contenedor de hielo.

b. Se preparó una mezcla de 11 µl con: 6 µl *Mezcla de Trabajo de Taq DNA polimerasa*, 2 µl *pre-amp DNA* diluido, 2 µl de cebador *Msel* conteniendo dNTPs, 0.5 µl de cebador A *EcoRI* marcado con IRDye 700 y 0.5 µl de cebador B *EcoRI* marcado con IRDye 800.

c. Termociclado.

Se pipetearon 9 µl de *Mezcla Taq DNA polimerasa y cebador* en cada tubo, entonces se agregaron 2 µl de cada plantilla *pre-amp* diluida.

Fue centrifugado brevemente a 3000 rpm por unos segundos, para permitir que los reactivos se asienten en el fondo del tubo.

Se corrió la PCR usando un programa “touchdown”:

1. 94°C 30 segundos
2. 65°C 30 segundos
3. 72°C 1 minuto
4. 94°C 30 segundos (12 ciclos)
5. 65°C menos 0.7°C cada ciclo (12 ciclos)
6. 72°C 1 minuto (12 ciclos)
7. 94°C 30 segundos (23 ciclos)
8. 56°C 30 segundos (23 ciclos)
9. 72°C 1 minuto (23 ciclos)

10. Remojado a 4°C

3. Se corrió la electroforesis en gel de poliacrilamida.
4. Se realizó la imagen de bandeado de los geles.

Los datos de AFLP codificaron como presencia/ausencia de cada banda y se construyó una matriz de diferencias genéticas usando el coeficiente de apareo simple (Palacios y col., 2012). De la matriz, se produjo un dendograma usando el método de grupo de pares no pesados con medias aritméticas (UPGMA por sus siglas en inglés) por medias de s-plus 2000 para software Windows. Se calcularon los intervalos de confianza para cada nodo del dendograma usando el método bootstrap de Felsenstein (Palacios y col., 2012). Adicionalmente, se realizó el análisis molecular de varianza en los datos AFLP usando software Arlequin.

Análisis de la información

Se contemplaron 5 bases de datos: morfología, genética, suelo, clima y calidad de sitio. Con ayuda de formatos de captura de datos, diseñados para cada uno de los grupos, se registraron los datos de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 1. Bases de datos de los arboles semilleros (progenitores) y sitios de procedencia.

Genética	Morfología	Suelo	Clima	Calidad de sitio
- Marcadores AFLP	- DAP - Cobertura - Altura - Longitud de pina - Longitud de foliolos - Longitud de vaina - Ancho de vaina - Folíolos por hoja	- pH - Conductividad eléctrica - % de Materia orgánica - % de Carbono orgánico - % de Arena - % de Limo - % de Arcilla	- Precipitación - Temperatura	- Abundancia de especies. - Área basal.

5.3. Caracterización de progenies

5.3.1 Caracterización morfológica de progenies

Peso de 100 semillas

Para cada uno de los árboles semilleros se prepararon y pesaron cinco muestras de diez semillas tomadas al azar y sin reemplazo

Escarificación, emergencia y establecimiento de planta

La semilla de cada árbol fue sometida a un proceso de limpieza retirando el pericarpio y lavándola, enseguida se rompió la testa con un alicate para uñas para permitir la entrada de humedad. Las semillas escarificadas se sembraron e incubaron a temperatura ambiente (aprox. 20°C) en contenedores cerrados con sustrato de turba húmedo. El porcentaje de emergencia fue calculado a los 90 días después de la siembra (DDS) con base al número de semillas sembradas y plantas emergidas por árbol. Por cada árbol semillero se trataron 60 semillas y las semillas germinadas se trasplantaron a tubetes forestales de 5 x 30 cm con turba tipo Peat Moss. Los tubetes se mantuvieron en un invernadero del Centro de Ciencias Agropecuarias por 90 días.

Registro datos morfológicos de plántulas (progenies)

Se registraron las siguientes variables por plántula: (1) altura desde la base del tallo hasta el ápice, (2) grosor de tallo a la base de la plántula, (3) longitud de peciolo, (4) longitud de la pina, (5) ancho de pina, (6) número de folíolos por pina, (7) longitud del folíolo (mm) y (8) ancho del folíolo (mm).

5.3.2 Caracterización molecular de progenies

La caracterización molecular de progenies se llevó a cabo siguiendo el mismo procedimiento aplicado para el análisis genético-molecular de los árboles semilleros.

Para ello, se colectó tejido foliar de cinco plantas (progenies), escogidas al azar de las plantas emergidas de cada árbol semillero. Se colectaron hojas jóvenes como se indica en la *Colecta de tejido foliar en campo* para extracción de DNA de árboles semilleros.

Análisis de datos de progenies

Se establecieron dos grupos de datos: morfológicos y genéticos. Con ayuda de formatos de captura de datos, diseñados para cada uno de los grupos, se registraron los datos de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 2. Resumen de los datos meteorológicos en los cuatro sitios de muestreo.

Morfológicos	Genéticos – Moleculares
--------------	-------------------------

Emergencia Longitud de hoja Longitud de folíolos Ancho de folíolo Folíolos por hoja Altura de la planta Grosor de tallo Longitud del peciolo	AFLP
---	------

5.4. Análisis de correlación entre los índices de diversidad (morfológica y genética) de progenitores y progenies y de efectos de sitio y rodal

5.4.1 Cálculo de índices de diversidad morfológica y genética

Los índices de diversidad morfológica y genética de los árboles semilleros y las progenies se calcularon con coeficiente de variación.

Los datos de AFLP se codificaron como ausencia o presencia de cada banda y se construyó una matriz de diferencias genéticas usando el coeficiente de apareamiento sencillo. De la matriz de diferencias, se produjo un dendograma usando el método Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Averages (UPGMA por sus siglas en inglés) por medio del software de s-plus 2000 para Windows. Los intervalos de confianza se calcularon para cada nodo del dendograma usando el método de Felsenstein. Adicionalmente, se realizó un análisis molecular de varianza de los datos AFLP usando el software Arlequin.

5.4.2 Análisis de correlación de los índices de diversidad morfológica y genética entre árboles semilleros y sus progenies

Se realizaron análisis de correlación entre los índices de diversidad morfológica y genética de los árboles semilleros con su progenie.

VI. RESULTADOS

6.1. Caracterización de sitios y rodales

6.1.1. Sitio

Clima (precipitación y temperatura)

Buenavista de Peñuelas, Aguascalientes

Para Buenavista de Peñuelas, la estación meteorológica más cercana fue “Santa Anita” que registró un promedio de precipitación anual histórico con año base 2002 de 512 mm, temperaturas máximas 26°C y mínimas 8°C (figura 2).

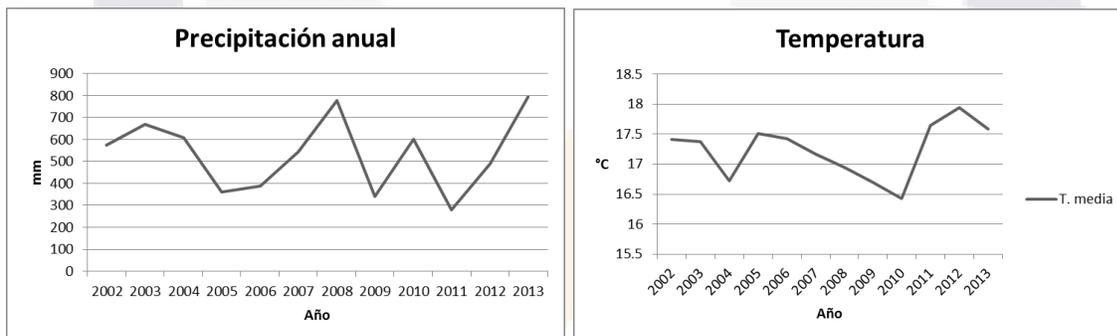


Figura 2. Promedios anuales de temperaturas y precipitación durante el periodo 2002-2013 en la estación “Santa Anita”.

Los Caños, Aguascalientes

La estación meteorológica más cercana a Los Caños fue “Los Gavilanes” que registró precipitación anual acumulada histórico con año base 2005 de 505 mm, temperatura máxima de 27°C y mínima de 11°C (figura 3).

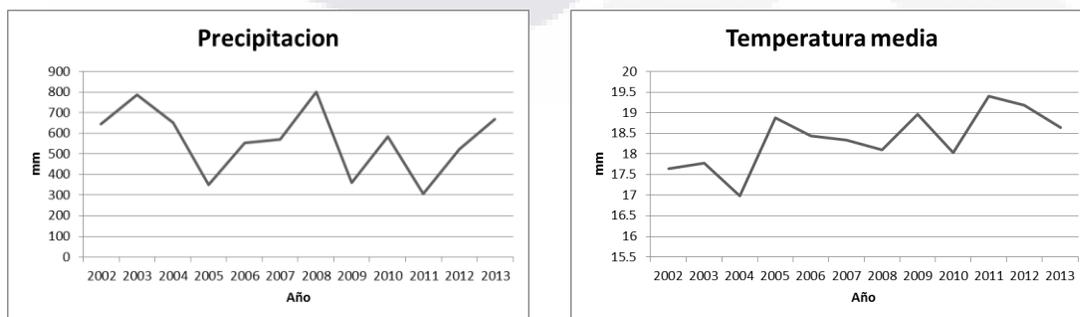


Figura 3. Promedios anuales de precipitación y temperaturas durante el periodo 2002-2013 en la estación “Los Gavilanes”.

La Luz, El Llano, Ags.

Para La Luz se tomaron datos de las dos estaciones meteorológicas más cercanas (“Sandoval” y “Pilotos”) ya que ambas carecen de cierta información por lo cual entre ambas se complementan los datos de temperatura y precipitación. Se registro un promedio acumulado de precipitación anual histórico con año base 2002 de 482 mm, y temperatura máxima de 25°C y mínima de 10°C (figura 4).

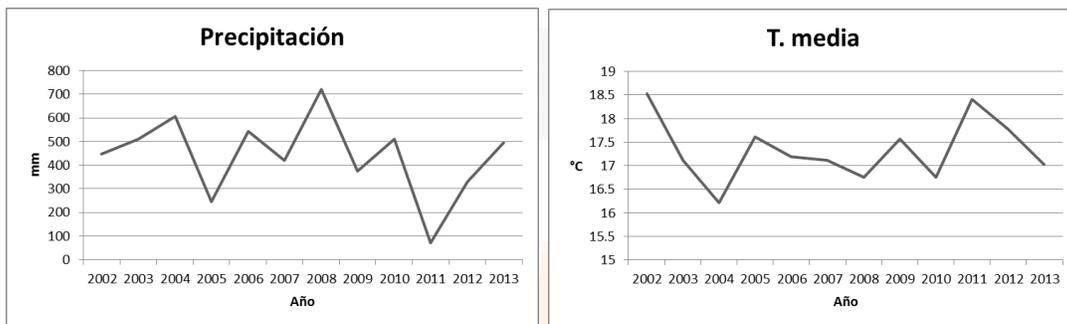


Figura 4. Promedios anuales de temperaturas y precipitación durante el periodo 2002-2013 en la estación “Pilotos” y “Sandoval”.

Ojo de Agua de los Montes, Tepezalá, Ags.

Para Ojo de Agua de los Montes, la estación meteorológica más cercana fue “Los Pinos” que registro un promedio de precipitación anual acumulada histórico con año base 2002 de 373 mm, temperatura máxima de 25°C y mínima de 7°C (figura 5).

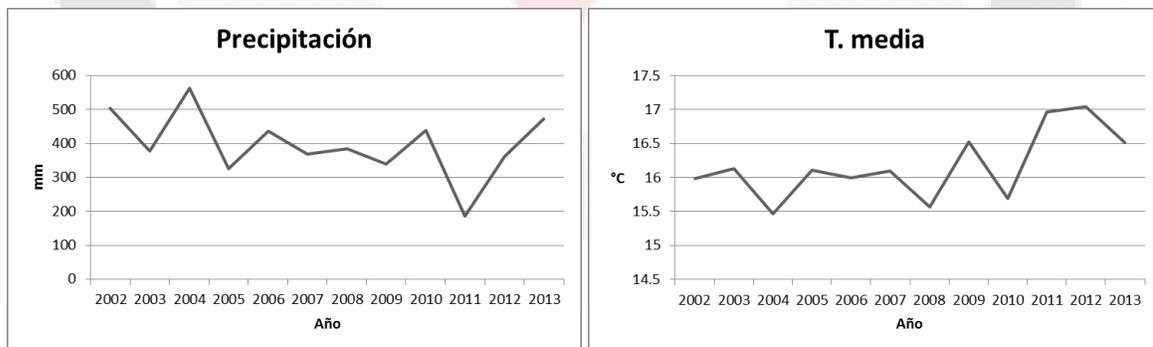


Figura 5. Promedios anuales de temperaturas y precipitación durante el periodo 2002-2013 en la estación “Los Pinos”.

Los datos de temperatura y PP se resumen en la tabla 6 con lo cual se puede apreciar que Buenavista de Peñuelas y Los Caños reciben mayor PP que La Luz. Con base al cuadro, Ojo de Agua de Los Montes es el sitio más seco de los cuatro. La tabla también muestra que los cuatro sitios presentan temperaturas muy similares.

Tabla 3. Resumen de los datos meteorológicos en los cuatro sitios de muestreo.

Sitio	Precipitación histórica	Temperaturas	Altitud (msnm)
Buenavista de Peñuelas, Aguascalientes	512 mm	Máxima: 26°C Mínima: 9°C Media: 17°C	1861
Los Caños, Aguascalientes	505 mm	Máxima: 27°C Mínima: 11°C Media: 17°C	1945
La Luz, El Llano	482 mm	Máxima: 25°C Mínima: 10°C Media: 17°C	2028
Ojo de Agua de los Montes, Tepezalá	373 mm	Máxima: 25°C Mínima: 7°C Media: 16°C	2040

Suelos

Arena

Los resultados de los análisis de suelos para el porcentaje de arena de los cuatro sitios y sus diferencias entre parcelas de muestreos (dentro o fuera de la copa) se consignan en la Tabla 4. Se encontraron diferencias entre los sitios en cuanto a contenido de arena en suelo, mientras que entre posiciones de muestreo se apreció una ligera diferencia con mayor contenido de arena en suelo bajo la copa que en suelo fuera de la copa, con una $p=0.2929$.

Tabla 4. Análisis de Varianza del componente arena.

CONDICIÓN	GL	SC	CM	F	p
Sitio	3	6589.93	2196.64	56.7247	0.000000
Parcela de muestreo	1	44.85	44.85	1.1583	0.292986
Sitio*Parcela de muestreo	3	183.26	61.09	1.5775	0.221954
Error	23	890.67	38.72		
Total	30	7804.39			

GL: grados de libertad, SC: suma de cuadrados, MC: Cuadrados medios, F: valor F , p: significancia

La Figura 6 muestra las diferencias de contenido de arena en los suelos de los cuatro sitios de estudio, el sitio OAM presentó 2.5, 4.1 y 2.5 veces más contenido de arena que PEN, LCA y LUZ respectivamente y a través de una prueba de Tukey se formaron dos

conjuntos en el que OAM es significativamente diferente del resto, que se ubicaron en un grupo similar estadísticamente.

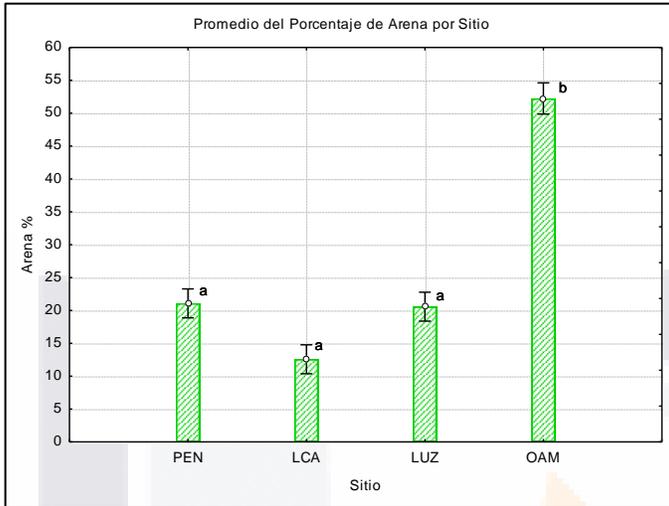


Figura 6. Contenido de arena en suelo por sitio.

El contenido de arena bajo la copa en las muestras de todos los sitios es mayor al que se encuentra fuera de la copa, aunque no existió diferencia significativa entre parcela de muestreo. Similarmente no se encontraron diferencias significativas en la parcela de muestreo por cada sitio (Fig. 7), y la Figura 8 muestra diferencias no significativas en los sitios PEN, LCA y LUZ.

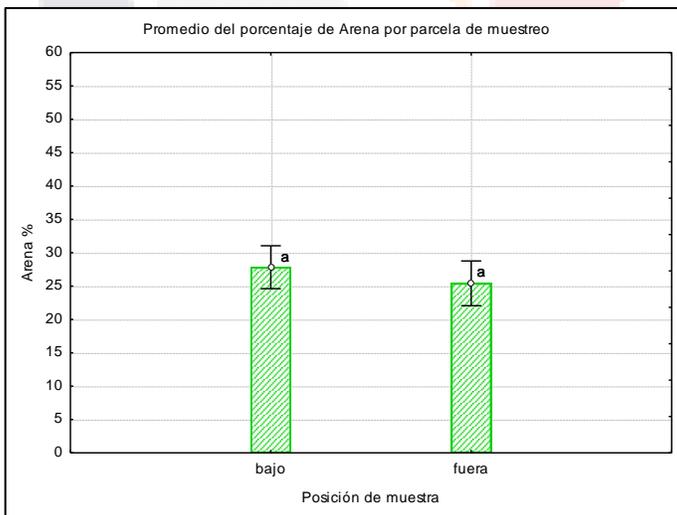


Figura 7. Contenido de arena en suelo por parcela de muestreo (fuera de la copa vs bajo la copa).

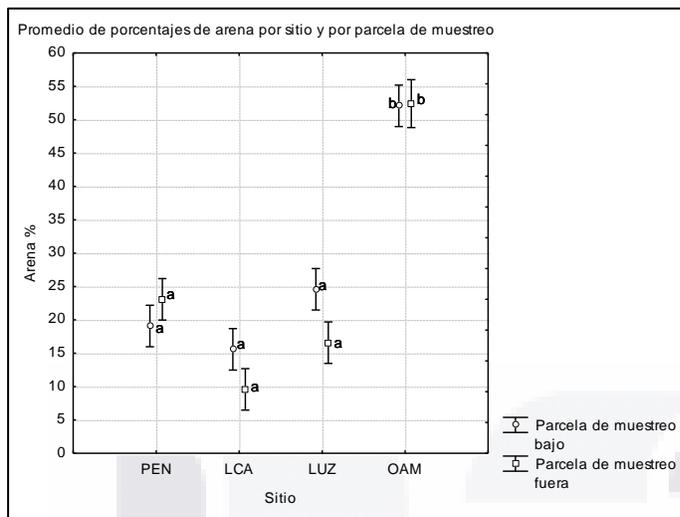


Figura 8. Contenido de arena en suelo por parcela de muestreo en cada sitio.

Limo

Considerando el componente contenido de limo, el suelo presentó diferencias significativas entre sitios, no así entre posiciones de muestreo ni tampoco, entre posiciones de muestreo por sitio. La Tabla 5 señala el análisis de varianza correspondiente a este componente, donde la diferencia entre sitios es altamente significativa con una $p = 0.0000$.

Tabla 5. Análisis de Varianza del componente limo.

CONDICIÓN	GL	SC	MC	F	p
Sitio	3	3538.05	1179.35	29.977	0.000000
Parcela de muestreo	1	0.40	0.40	0.010	0.920806
Sitio*Parcela de muestreo	3	72.21	24.07	0.612	0.614220
Error	23	904.86	39.34		
Total	30	4560.82			

GL: grados de libertad, SC: suma de cuadrados, MC: Cuadrados medios, F: valor F, p: significancia

La Figura 9 indica la cantidad de limo contenido en muestras de los cuatro sitios, donde PEN con 53.9 % es el sitio con mayor cantidad, mientras que el sitio OAM con 26% presenta la menor cantidad. Se observaron diferencias entre sitios, se formaron tres conjuntos con la prueba de Tukey, donde LCA y PEN (a) no presentan diferencias significativas, no obstante LUZ (b) y OAM (c) son diferentes entre sí y con el conjunto “a” . Se tiene que OAM es el de menor contenido de limo, seguido por LUZ, LCA y PEN consecutivamente.

Con este componente, no se observó diferencia significativa en las posiciones de muestreo considerando todos los sitios (Figura 10), no obstante la Figura 11 indica

diferencias aunque no significativas, en la parcela de muestreo en los sitios PEN, LCA y LUZ con excepción en OAM.

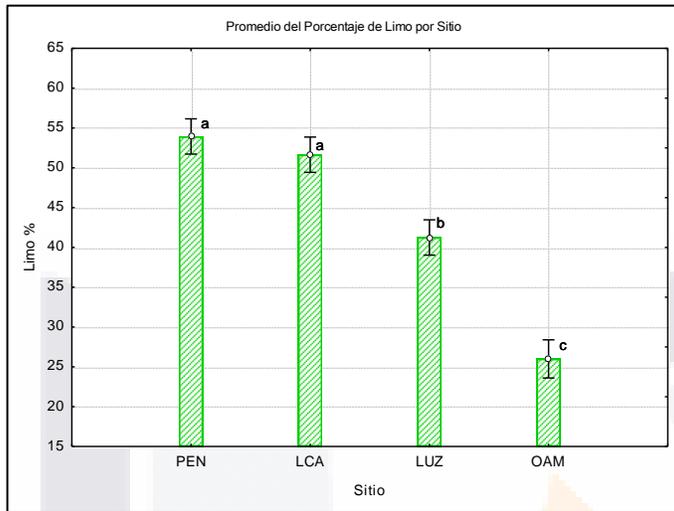


Figura 9. Contenido de limo en suelo por sitio.

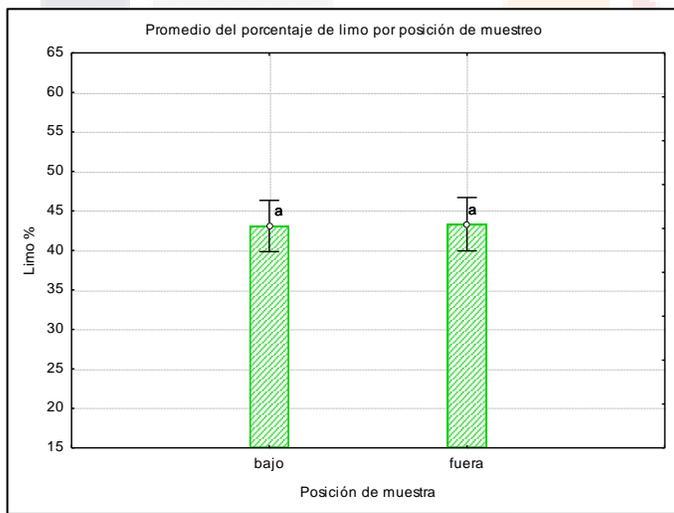


Figura 10. Contenido de limo en suelo por parcela de muestreo (fuera de la copa vs bajo la copa).

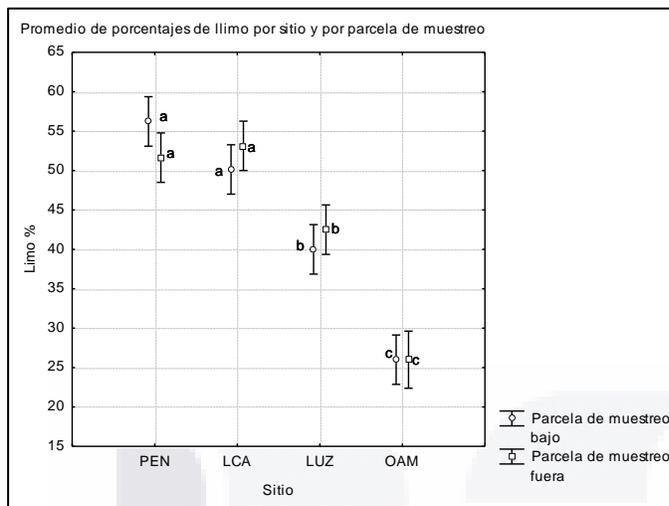


Figura 11. Diferencias de contenido de limo en suelo por parcela de muestreo en cada sitio.

Arcilla

Para el componente porcentaje de arcilla, los resultados indican que el suelo tuvo diferencias entre sitios, pero en parcela de muestreo entre los sitios, como dentro de cada uno de los sitios no se observan diferencias. La Figura 12 expresa el promedio obtenido por cada uno de los sitios, con LCA y LUZ por arriba del 35% mientras que los sitios PEN y OAM oscilan el 25% de arcilla.

Tabla 6. Análisis de Varianza del componente arcilla.

CONDICIÓN	GL	SC	MC	F	p
Sitio	3	1461.57	487.19	7.1147	0.001502
Parcela de muestreo	1	36.81	36.81	0.5375	0.470879
Sitio*Parcela de muestreo	3	39.19	13.06	0.1908	0.901585
Error	23	1574.96	68.48		
Total	30	3123.87			

GL: grados de libertad, SC: suma de cuadrados, MC: Cuadrados medios, F: valor F, p: significancia.

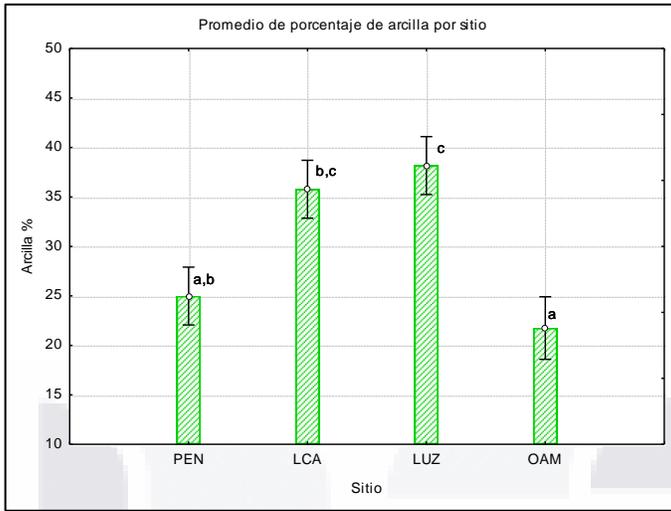


Figura 12. Contenido de arcilla en suelo por sitio.

Adicionalmente no se presentó diferencia significativa entre las posiciones de muestreo de todos los sitios (Fig. 13). Igualmente en parcela de muestreo por sitio, el análisis no detectó diferencias significativas indicado en la Figura 14.

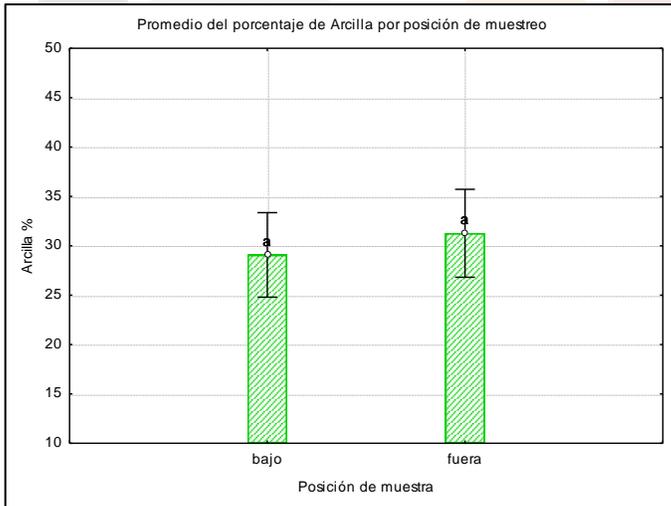


Figura 13. Contenido de arcilla en suelo por parcela de muestreo (fuera de la copa vs bajo la copa).

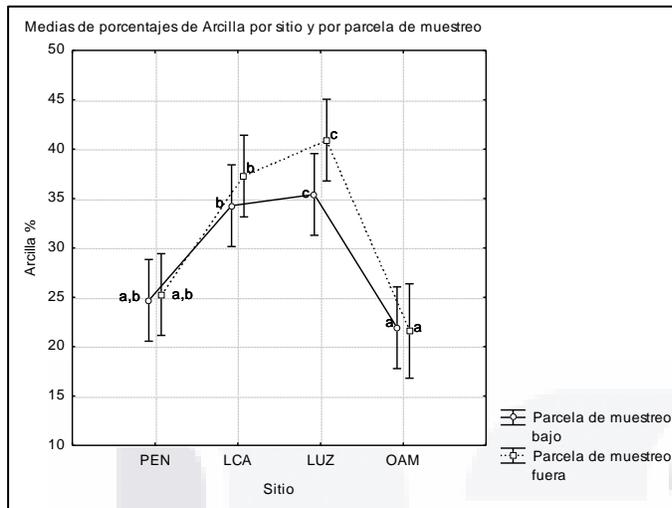


Figura 14. Contenido de arcilla en suelo por parcela de muestreo en cada sitio.

De estos anteriores componentes se obtuvieron las clases texturales, para PEN es *franca*, para LCA *franco arcillo limosa*, para LUZ *franco arcillosa* y para OAM *franco arcillo arenosa*.

pH

En cuanto al componente pH, de acuerdo a la prueba de Tukey, no se detectaron diferencias significativas entre los sitios. Se obtuvieron promedios de 7.2, 7.4, 7.0 y 7.7 para PEN, LCA, LUZ y OAM respectivamente.

Tabla 7 . Análisis de Varianza del componente pH.

CONDICIÓN	GL	SC	MC	F	p
Sitio	3	2.560	0.853	1.817	0.172220
Parcela de muestreo	1	0.147	0.147	0.312	0.581841
Sitio*Parcela de muestreo	3	2.359	0.786	1.675	0.200183
Error	23	10.801	0.470		
Total	30	16.000			

GL: grados de libertad, SC: suma de cuadrados, MC: Cuadrados medios, F: valor F, p: significancia

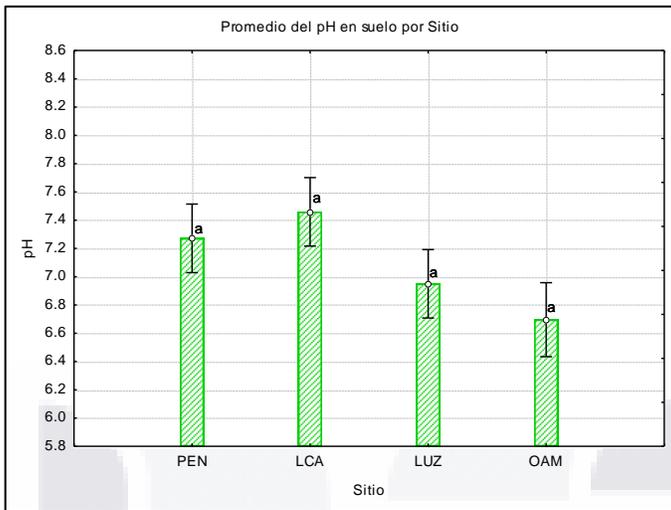


Figura 15. pH en el suelo de cada sitio.

No se encontraron diferencias significativas entre parcelas de muestreo de todos los sitios conjuntamente, presentando promedios muy similares en ambas posiciones 7.0 en muestras bajo la copa y 7.1 en muestras fuera de la copa. Al analizar en cada sitio, como se muestra en la Figura 17, las diferencias observadas no son significativas.

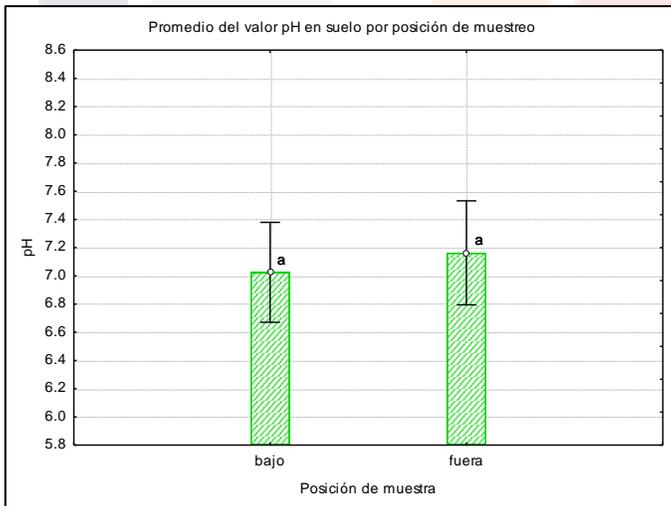


Figura 16. pH en el suelo por parcela de muestreo (fuera de la copa vs bajo la copa).

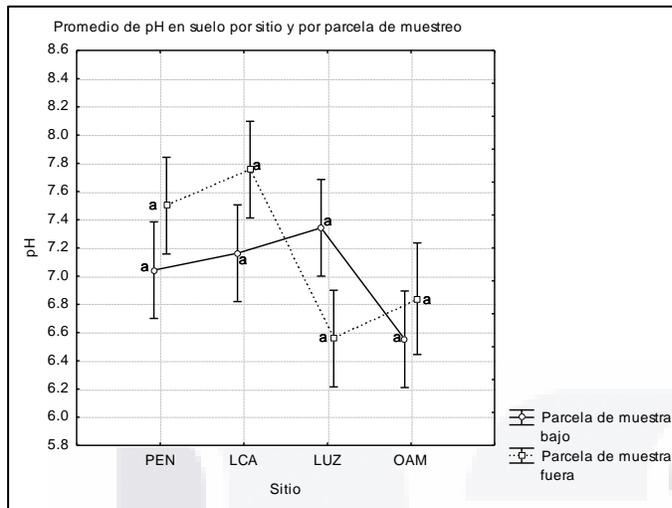


Figura 17. Niveles de pH en suelo por parcela de muestreo en cada sitio.

Conductividad Eléctrica

El componente conductividad eléctrica en el suelo, de acuerdo a la Tabla 8, muestra que no existen diferencias significativas entre sitios, entre parcelas de muestreo y tampoco entre parcelas de muestreo en cada sitio.

Tabla 8. Análisis de Varianza del componente conductividad eléctrica.

CONDICION	GL	SC	MC	F	p
Sitio	3	37.2011	12.4004	2.56783	0.079156
Parcela de muestreo	1	11.2460	11.2460	2.32879	0.140635
Sitio*Parcela de muestreo	3	29.2054	9.7351	2.01593	0.139738
Error	23	111.0695	4.8291		
Total	30	190.5795			

GL: grados de libertad, SC: suma de cuadrados, MC: Cuadrados medios, F: valor F, p: significancia

Los valores promediados de los sitios PEN, LCA, LUZ y OAM fueron 2.0, 3.4, 2.6 y 0.38 respectivamente, mismos que se grafican en la Figura 18.

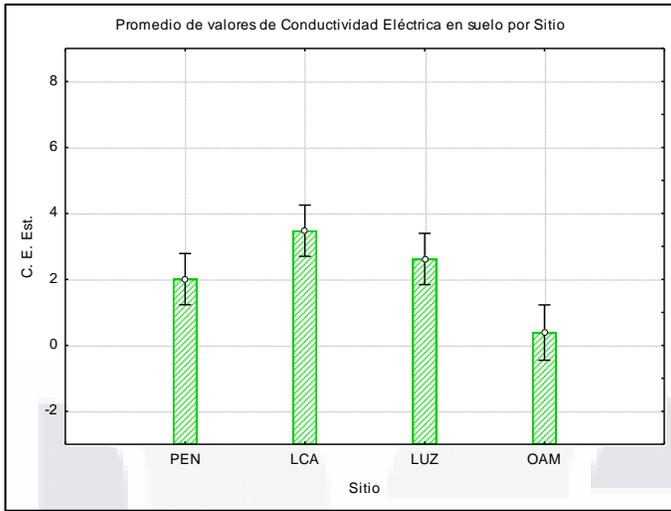


Figura 18. Conductividad eléctrica en el suelo en cada sitio.

Para las posiciones de muestreo de todos los sitios los valores obtenidos fueron 2.72 para muestras bajo copa y 1.51 para muestras fuera de la copa (Fig. 19), que no representa una diferencia significativa.

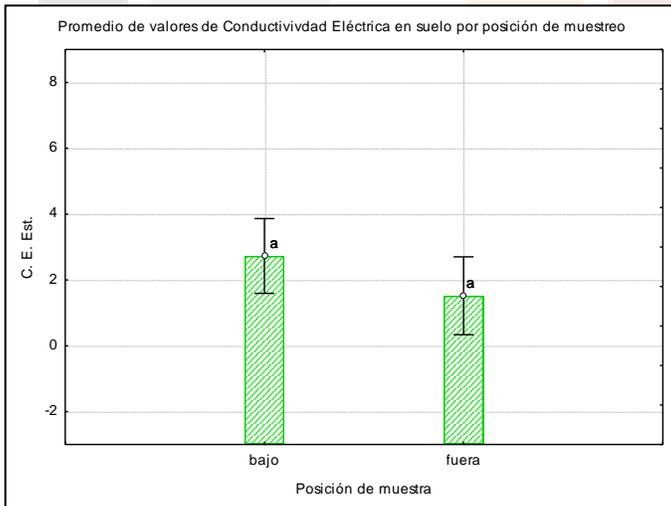


Figura 19. Conductividad eléctrica en el suelo por parcela de muestreo (fuera de la copa vs bajo la copa).

La conductividad eléctrica por parcela de muestreo en cada sitio se grafican en la Figura 20, donde el sitio PEN registró un promedio de 1.75 y 2.26; LCA 5.65 y 1.29; LUZ 3.2 y 2.02; OAM 0.29 y 0.49 bajo y fuera de la copa respectivamente.

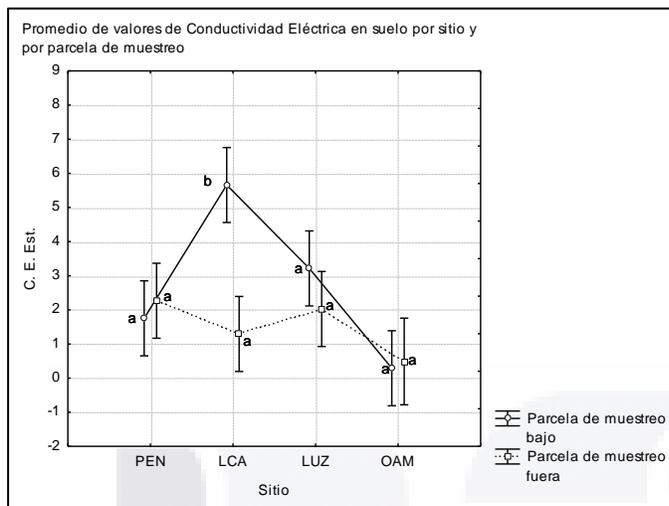


Figura 20. Conductividad eléctrica del suelo por parcela de muestreo en cada sitio.

Materia Orgánica

La materia orgánica contenida en suelo mostró diferencias altamente significativas entre sitios ($p=0.0000$), mientras que en cuanto a parcela de muestreo y posición de muestreo por sitio, no se encontraron estas diferencias (Tabla 9).

Tabla 9. Análisis de Varianza del componente materia orgánica.

CONDICIÓN	GL	SC	MC	F	p
Sitio	3	353.985	117.995	23.1302	0.000000
Parcela de muestreo	1	7.144	7.144	1.4005	0.248728
Sitio*Parcela de muestreo	3	16.091	5.364	1.0514	0.388796
Error	23	117.331	5.101		
Total	30	496.898			

GL: grados de libertad, SC: suma de cuadrados, MC: Cuadrados medios, F: valor F , p: significancia

Los promedios de materia orgánica de los cuatro sitios se expresan en la gráfica de la Figura 21, con 9.20, 15.12, 11.93 y 5.76 % respectivamente para los sitios PEN, LCA, LUZ y OAM. Solo se presentó diferencia significativa entre los sitios LCA y OAM.

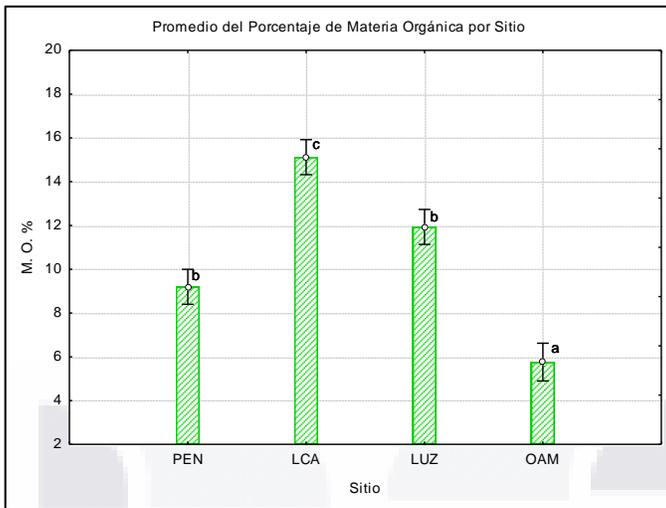


Figura 21. Contenido de materia orgánica en suelo por sitio.

Se observa en la Figura 22 una diferencia no significativa entre el muestreo bajo la copa que registró 10.98 % contra 10.02 % de la muestra fuera de la copa en todos los sitios.

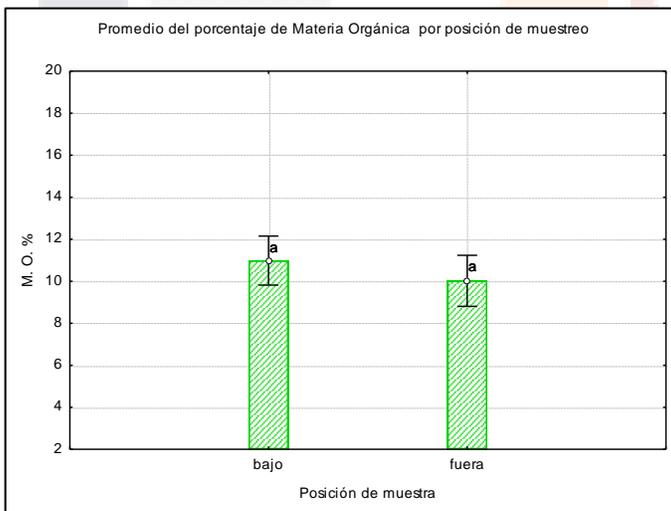


Figura 22. Contenido de materia orgánica en suelo por parcela de muestreo (fuera de la copa vs bajo la copa).

La siguiente gráfica (Fig. 23) indica los valores obtenidos de materia orgánica en ambas posiciones de muestreo por cada sitio de estudio. Sin embargo se observó una diferencia en el sitio LCA, con un valor de 3.42 % más de materia orgánica bajo la copa que fuera de la copa.

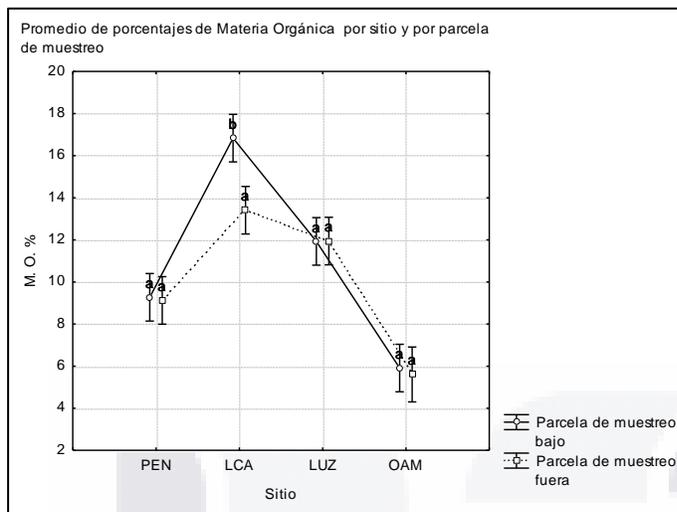


Figura 23. Contenido de materia orgánica en suelo por parcela de muestreo en cada sitio.

Carbono Orgánico

En el componente carbono orgánico, el suelo presenta diferencia altamente significativa de contenido de materia orgánica entre sitios, sin embargo no existen diferencias en las posiciones de muestreo de todos los sitios, ni tampoco en cada uno de ellos. Se muestra el análisis de varianza en la Tabla 10.

Tabla 10. Análisis de Varianza del componente carbono orgánico.

CONDICIÓN	GL	SC	MC	F	p
Sitio	3	119.100	39.700	23.1302	0.000000
Parcela de muestreo	1	2.404	2.404	1.4005	0.248728
Sitio*Parcela de muestreo	3	5.414	1.805	1.0514	0.388796
Error	23	39.476	1.716		
Total	30	167.183			

GL: grados de libertad, SC: suma de cuadrados, MC: Cuadrados medios, F: valor F, p: significancia.

La Figura 24 muestra la separación entre valores promedio de carbono orgánico contenido en el suelo de los cuatro sitios, con totales de 5.33, 8.77, 6.92 y 3.34 para PEN, LCA, LUZ y OAM respectivamente. Con la prueba de Tukey se obtuvieron tres conjuntos, OAM (a), PEN-LUZ (b) y LCA (c), que ostentan diferencias entre ellos.

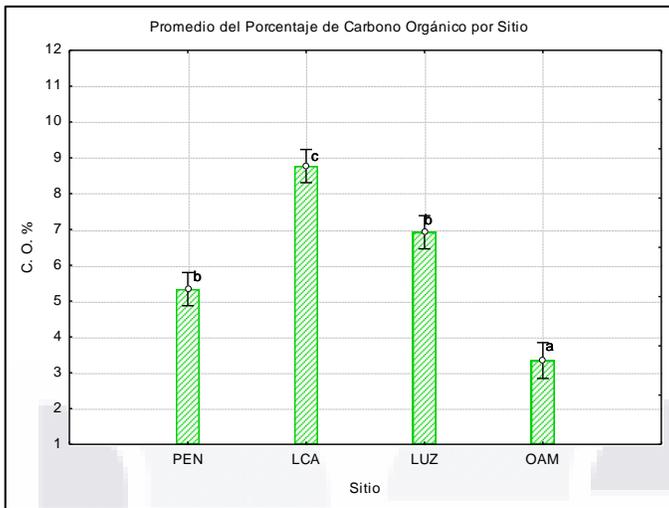


Figura 24. Contenido de carbono orgánico en suelo por sitio.

El contenido de carbono orgánico bajo la copa y fuera de la copa fueron de 6.37 y 5.81 % respectivamente, con una diferencia sin significancia de 0.56 % (Fig. 25). No obstante al realizar el análisis por parcela de muestreo en cada sitio LCA (Fig. 26) presentó diferencias significativas, donde las parcelas de muestreo bajo la copa (*b*) contenía mayor carbono orgánico que las muestras de la parcelas fuera de las copas (*a*).

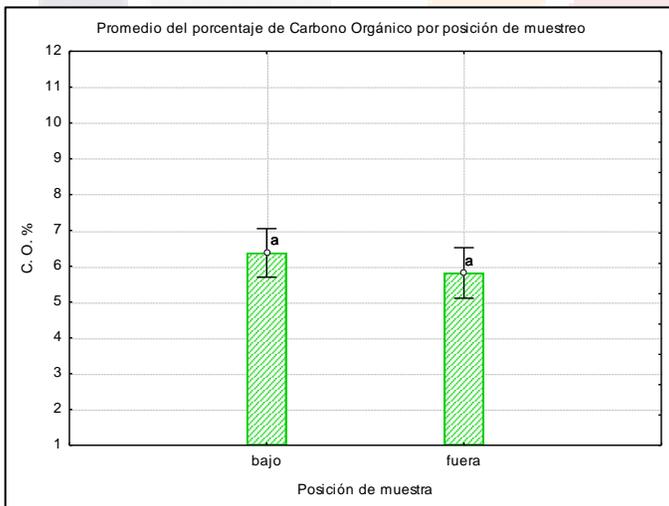


Figura 25. Contenido de carbono orgánico en suelo por parcela de muestreo (fuera de la copa vs bajo la copa).

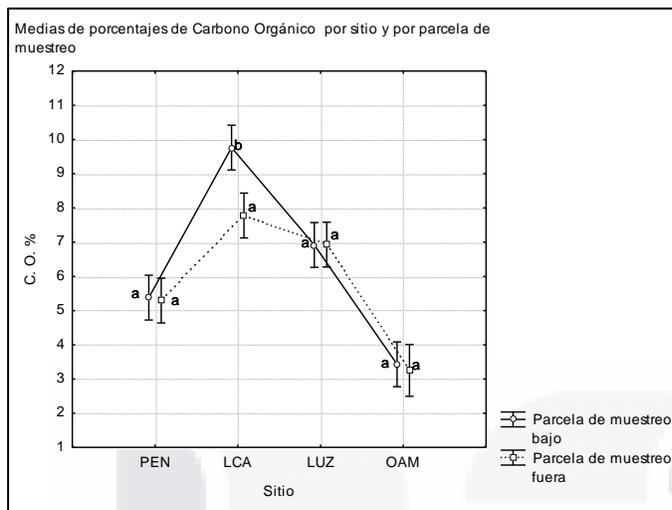


Figura 26. Contenido de carbono orgánico en suelo por parcela de muestreo en cada sitio.

La tabla 11 resume los valores promedio de contenido de cada componente en cada sitio, separados por parcela de muestreo.

Tabla 11. Promedios de contenido por componente en cada sitio y su clase textural.

COMPONENTE	SITIO							
	PEN		LCA		LUZ		OAM	
	B	F	B	F	B	F	B	F
Arena %	19.08	23.08	15.58	9.58	24.58	16.58	52.08	52.41
Limo %	56.23	51.64	50.14	53.14	40.00	42.50	26.00	26.00
Arcilla %	24.69	25.28	34.28	37.28	35.42	40.92	21.92	21.59
Clase textural	Franca		Franco arcillo limosa		Franco arcillosa		Franco arcillo arenosa	
pH	7.04	7.50	7.16	7.76	7.34	6.56	6.55	6.84
C. E.	1.75	2.27	5.66	1.29	3.21	2.03	0.29	0.49
M. O. %	9.27	9.12	16.83	13.41	11.92	11.94	5.91	5.61
C. O. %	5.38	5.29	9.76	7.78	6.92	6.93	3.43	3.25

B: bajo la copa, F: fuera de la copa, C.E.: conductividad eléctrica, M.O.: materia orgánica, C.O.: carbono orgánico.

6.1.2. Caracterización de rodales.

Las vistas aéreas de los rodales y arboles semilleros bajo estudio en cada uno de los cuatro sitios se muestran en las figuras 28, 29, 33 y 34.



Figura 27. La fotografía aérea muestra el sitio de muestreo Buenavista de Peñuelas, donde se ubican los árboles con cada una de sus etiquetas.



Figura 28. La fotografía aérea muestra el sitio de muestreo Los Caños, donde se ubican los árboles con cada una de sus etiquetas.

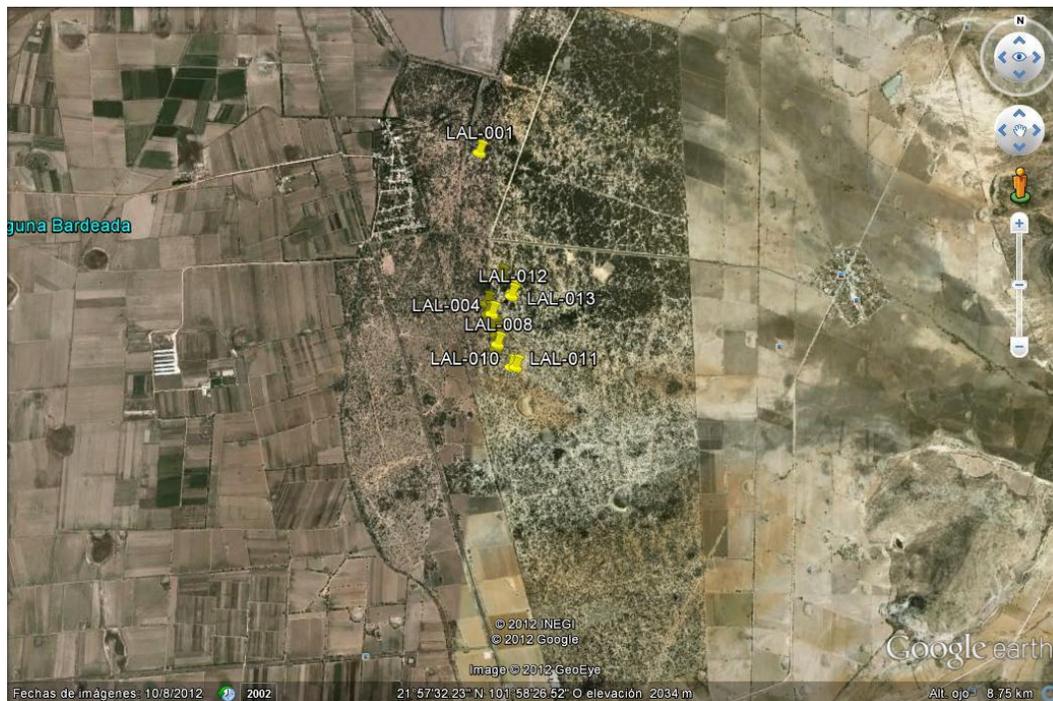


Figura 29. La fotografía aérea muestra el sitio de muestreo Ojo de Agua de los Montes, donde se ubican los árboles con cada una de sus etiquetas.

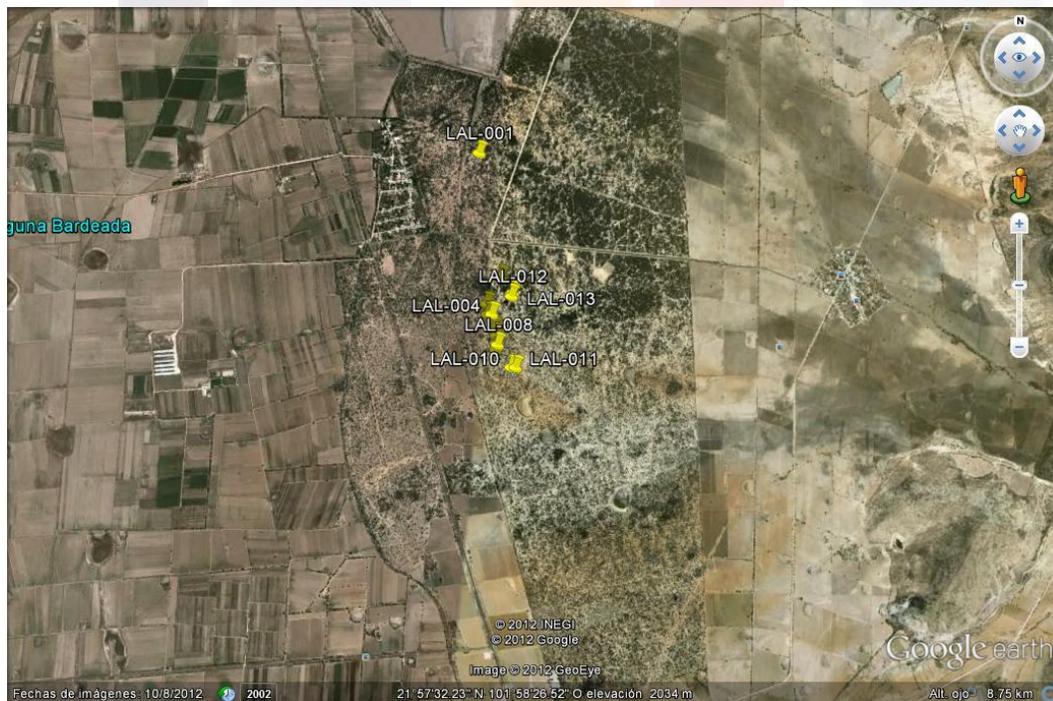


Figura 30. La fotografía aérea muestra el sitio de muestreo La Luz, donde se ubican los árboles con cada una de sus etiquetas.

Los datos de campo sobre abundancia de especies vegetales con las que se asocian los árboles de mezquite seleccionados en los cuatro rodales/sitios de estudio se muestran en

la Tabla 12. La tabla muestra diferencias en diversidad de especies en al menos tres de los cuatro sitios. Peñuelas es el menos diverso con cuatro especies diferentes, mientras que en Los Caños y La Luz se registraron 8 especies en cada sitio. Ojo de Agua de los Montes fue el sitio que presentó la mayor diversidad con 10 especies como se muestra en la Tabla 12. La densidad de *P. laevigata* fue muy variable entre sitios, desde 90 individuos por hectárea en Peñuelas hasta 250 en Los Caños (Tabla 12).

Tabla 12. Densidad de población y especies asociadas con *P. laevigata* por cada sitio.

ESPECIE	PEN	LCA	LUZ	OAM
	Individuos/Ha	Individuos/Ha	Individuos/Ha	Individuos/Ha
mezquite (<i>Prosopis laevigata</i>)	90	250	93	213
huizache (<i>Acacia</i> sp)	327	80	83	33
nopal (<i>Opuntia</i> sp)	17	183	123	153
gatuño (<i>Mimosa</i> sp.)	10	63	143	53
mimbres (<i>Forestiera</i> sp)	-	87	53	27
varaduz (<i>Eysenhardtia polystachya</i>)	-	13	-	37
fresno (<i>Fraxinus</i> sp)	-	7	-	-
yuca (<i>Yucca</i> sp)	-	7	-	-
venadilla (<i>Bursera</i> sp)	-	-	53	150
cardenche (<i>Opuntia imbricata</i>)	-	-	40	20
biznaga (<i>Mammillaria</i> sp)	-	-	7	67
sangre grado (<i>Jatropha dioica</i>)	-	-	-	3
TOTAL ESPECIES	4	8	8	10

6.2. Caracterización de árboles semilleros

6.2.1. Caracterización morfológica de árboles semilleros

Las características morfológicas de los árboles semilleros registradas en las cuatro localidades se resumen en la Tabla 13. Los promedios de datos dasométricos de los árboles semilleros de los cuatro sitios y sus diferencias según la prueba de Tukey ($p < 0.05$) se presentan en las figuras 27, 28 y 29.

Altura, cobertura y DAP

Se detectaron diferencias significativas en altura y cobertura de copas (Fig. 27 y 28). PEN y LCA mostraron mayores alturas ($P < 0.05$) que LUZ y OAM (Figura 27). Asimismo, los árboles semilleros de LCA mostraron la mayor cobertura de copa y DAP (Figura 28 y 29). En general, los árboles semilleros de OAM mostraron los valores más bajos en altura, cobertura y DAP.

Tabla 13. Dasometría de los árboles semilleros por sitio.

Sitio	Individuo	latitud N	longitud O	altura (m)	cobertura (m)	DAP (cm)
Buenavista de Peñuelas	PEN-001	21°43'06.6"	102°16'51.0"	6	8.5	45
Buenavista de Peñuelas	PEN-002	21°43'07.2"	102°16'49.4"	6	9	30
Buenavista de Peñuelas	PEN-003	21°43'06.6"	102°16'48.2"	8	7	28
Buenavista de Peñuelas	PEN-004	21°43'04.4"	102°16'48.1"	9	10	40
Buenavista de Peñuelas	PEN-005	21°43'03.6"	102°16'47.0"	8	12	40
Buenavista de Peñuelas	PEN-006	21°43'01.6"	102°16'45.5"	9	14	45
Buenavista de Peñuelas	PEN-007	21°43'02.9"	102°16'44.3"	12	16	70
Buenavista de Peñuelas	PEN-008	21°43'01.4"	102°16'50.0"	10	10	70
Buenavista de Peñuelas	PEN-010	21°42'56.1"	102°16'52.5"	8	14	85
Buenavista de Peñuelas	PEN-012	21°42'58.1"	102°16'52.4"	12	11	85
Los Caños	LCA-001	21°48'32.1"	102°28'14.1"	10	12	105
Los Caños	LCA-002	21°48'30.5"	102°28'12.0"	9	15	98
Los Caños	LCA-003	21°48'33.1"	102°28'12.3"	10	15	115
Los Caños	LCA-004	21°48'36.0"	102°28'12.3"	14	21	150
Los Caños	LCA-005	21°48'33.8"	102°28'13.8"	7	8	74
Los Caños	LCA-006	21°48'27.5"	102°28'10.5"	8	14	92
Los Caños	LCA-007	21°48'25.0"	102°28'07.0"	10	18	91
Los Caños	LCA-008	21°48'21.9"	102°28'06.0"	10	17	60
Los Caños	LCA-009	21°48'28.5"	102°28'06.5"	11	17	85
Los Caños	LCA-010	21°48'26.9"	102°28'12.1"	8	16	62
La Luz	LUZ-001	21°58'17.5"	101°58'43.2"	7	9	60
La Luz	LUZ-002	21°57'48.1"	101°58'36.8"	7	9	60
La Luz	LUZ-003	21°57'41.7"	101°58'42.3"	8	8	50
La Luz	LUZ-004	21°57'39.3"	101°58'38.8"	7	8	60
La Luz	LUZ-005	21°57'39.2"	101°58'39.9"	6	8	90
La Luz	LUZ-006	21°57'35.8"	101°58'38.2"	7	10	80
La Luz	LUZ-009	21°57'31.0"	101°58'37.5"	8	8.5	80
La Luz	LUZ-010	21°57'26.8"	101°58'33.5"	7	9	70
La Luz	LUZ-011	21°57'26.8"	101°58'32.3"	7	10	50
La Luz	LUZ-015	21°58'14.4"	101°58'42.9"	7	14	120
Ojo de Agua de los Montes	OAM-001	22°17'37.7"	102°10'43.3"	7	8	70
Ojo de Agua de los Montes	OAM-002	22°17'20.2"	102°10'08.9"	3.5	5.5	30
Ojo de Agua de los Montes	OAM-003	22°17'25.1"	102°10'07.0"	3.5	5.5	38
Ojo de Agua de los Montes	OAM-004	22°17'27.1"	102°10'06.4"	4.5	5	45
Ojo de Agua de los Montes	OAM-005	22°17'19.3"	102°09'55.3"	3	5	20
Ojo de Agua de los Montes	OAM-006	22°17'23.9"	102°09'53.8"	4	4.5	20
Ojo de Agua de los Montes	OAM-007	22°17'26.7"	102°09'54.7"	3.5	5.5	28
Ojo de Agua de los Montes	OAM-008	22°17'31.9"	102°09'53.3"	3.5	6	45

Ojo de Agua de los Montes	OAM-009	22°17'29.4"	102°09'50.4"	3	3.5	20
Ojo de Agua de los Montes	OAM-010	22°17'25.5"	102°09'51.1"	5	3.5	25

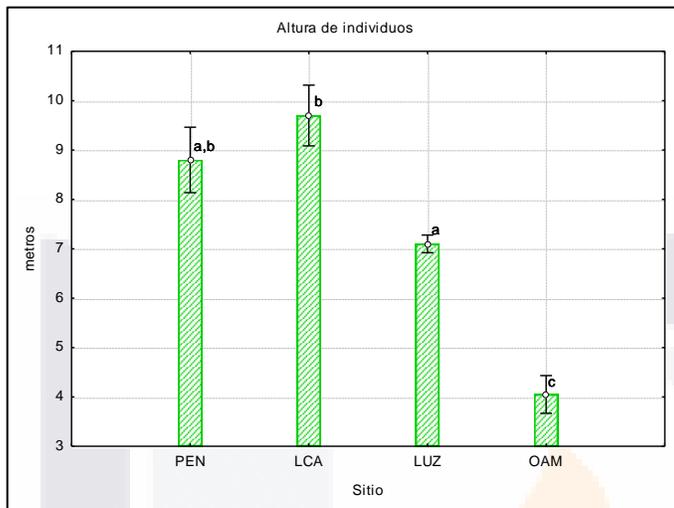


Figura 31. Promedios de alturas.

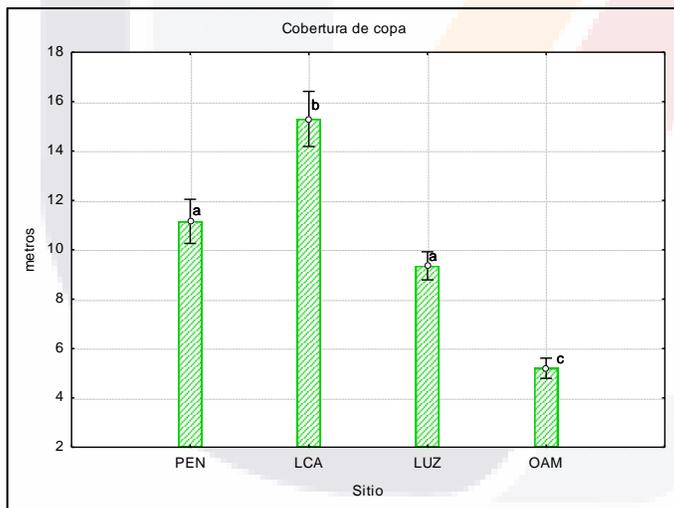


Figura 32. Cobertura de copa.

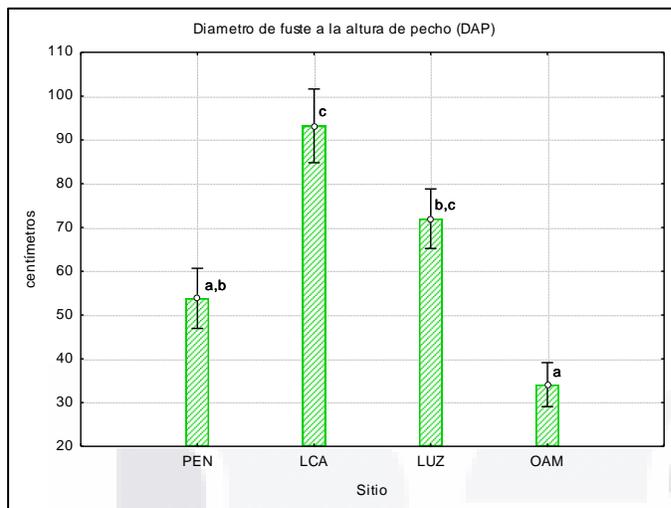


Figura 33. Gráfica comparativa de los promedios de tamaño de fuste en los árboles semilleros entre los sitios.

Morfometría de hojas

Las características morfométricas de hoja para cada uno de los arboles semilleros de los cuatro sitios bajo estudio se muestran en las Tablas 14, 15, 16 y 17.

Tabla 14. Promedios de los atributos de hoja para los arboles semilleros del sitio Peñuelas.

árbol	N	largo del peciolo	largo de pina	ancho pina	pares foliolos	largo foliolo	ancho foliolo
PEN-001	10	17	78	18.2	25.3	10.2	2.7
PEN-002	10	20	84.7	18.2	27.8	9.2	2.1
PEN-003	10	13.2	54.9	12.8	27	6.6	2.2
PEN-004	10	18.8	65.9	14	26.5	7.2	2
PEN-005	10	23.1	81.8	17.2	28.7	8.2	2
PEN-006	10	32	85.1	18.7	28.3	9.6	2.4
PEN-007	10	17	63.1	15.1	30.8	7.6	1.8
PEN-008	10	18.4	67.1	14.5	32.5	6.7	1.9
PEN-009	10	13.8	67.5	14.1	29.4	7.3	2.1
PEN-010	10	19.1	86.5	15.4	34	7.3	1.8

Tabla 15. Promedio de los atributos de hoja del sitio Los Caños en milímetros.

Árbol	N	Largo del peciolo	Largo de la pina	Ancho de pina	Pares foliolos	Largo foliolo	Ancho foliolo
LCA-001	10	20.9	65.7	16.7	32.5	7.9	2.4
LCA-002	10	16.7	64.5	16.9	20.9	8.5	2.1
LCA-003	10	27.3	85.8	16.6	30.8	8.3	3.4
LCA-004	10	21.1	79	14.9	30.6	7.3	2.1
LCA-005	10	23.3	90	17.7	30.3	8.8	2.2

LCA-006	10	25.7	61.2	13.4	27.5	6.95	1.6
LCA-007	10	23.9	97.5	16.5	32.4	8.2	2.5
LCA-008	10	18.3	78.3	14.7	34.9	7.6	2
LCA-009	10	32.1	101.6	19.1	33.9	9.5	2
LCA-010	10	31.5	89.6	16.6	34.4	8.2	2.5

Tabla 16. Promedio de los atributos de hoja del sitio La Luz en milímetros.

Árbol	N	Largo del peciolo	Largo de la pina	Ancho de pina	Pares foliolos	Largo foliolo	Ancho foliolo
LUZ-002	10	25.2	87.5	19.2	33	9.8	2
LUZ-003	10	26	65.5	17.8	22.6	8.4	2.3
LUZ-004	10	16.7	84.5	20.6	27.8	10.5	2.1
LUZ-005	10	27.2	81.5	18.4	32.5	9.1	2.2
LUZ-008	10	19.9	90.3	20.7	34.4	9.7	2.1
LUZ-009	10	31.4	78.2	24.9	27	23.4	2.1
LUZ-010	10	33.9	84.5	20.3	27.3	9.9	1.9
LUZ-011	10	13.3	83.2	17.5	28.9	9	1.9
LUZ-014	10	18.7	80.4	17.7	26.4	9	2.5
LUZ-015	10	21.3	74.4	20.7	24.2	9.9	2.5

Tabla 17. Promedio de los atributos de hoja del sitio Ojo de Agua de los Montes en milímetros.

Árbol	N	Largo del peciolo	Largo de la pina	Ancho de pina	Pares foliolos	Largo foliolo	Ancho foliolo
OAM-001	10	35.2	126.3	30.2	28	13.6	3.2
OAM-002	10	40.4	95.3	26.4	29.9	9.2	1.4
OAM-003	10	36.5	95.2	22.1	26.3	11.6	2.7
OAM-004	10	40.1	92.2	19.4	30.1	8.9	1.8
OAM-005	10	46	107.2	21.9	27.1	11.6	2.7
OAM-006	10	32	87.6	21.4	27.7	10.2	2.2
OAM-007	10	48.7	95.6	23.1	24.9	12.2	2.9
OAM-008	10	32.3	93.6	22.3	25	11	2.1
OAM-009	10	41.4	124.6	25.3	28.5	11.6	2.2
OAM-010	10	28.8	98.2	23.8	23.3	12.6	2.7

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre sitios en todos los caracteres de hoja evaluados. Los datos en la Tabla 18 permiten discriminar dos o tres diferentes fenotipos en las cuatro poblaciones evaluadas, especialmente el sitio OAM presentó una consistente separación en todos los caracteres. También se puede verificar que PEN y LCA son similares estadísticamente en cinco caracteres, siendo los grupos que presentan más similitud en contraste con el resto de los sitios.

Tabla 18. Promedios de los caracteres morfológicos evaluados correspondientes a cada sitio de procedencia.

CARACTER	PEN	LCA	LUZ	OAM
Largo del peciolo	19.24a	24.08b	23.35b	38.14c
Largo de pina	73.46a	81.32b	81.00b	101.58c
Ancho de pina	15.81a	16.31a	19.78b	23.59c
Pares de foliolos	29.03b	30.82c	28.41ab	27.08a
Largo de foliolo	7.97a	8.11a	10.87b	11.26b
Ancho del foliolo	2.09a	2.13a	2.17a	2.39b

Valores con diferente letra son significativamente diferentes según prueba de Tukey (0.05).

Las Figuras 34 a 39 muestran la variabilidad encontrada en los individuos de los cuatro sitios en estudio. Cada gráfica representa uno de los seis caracteres evaluados en las tablas 14 a la 17.

Los sitios presentaron la misma interacción con el Largo del peciolo (Fig. 34) y Largo de pinas (Fig. 35), donde OAM es el sitio que mostró tener las mayores dimensiones. La prueba de Tukey ($p < 0.05$) reveló tres conjuntos, con OAM como grupo “c”, LCA y LUZ exhibieron similitud estadística en un conjunto “b” y PEN tuvo diferencias significativas para colocarse en otro conjunto independiente “a” .

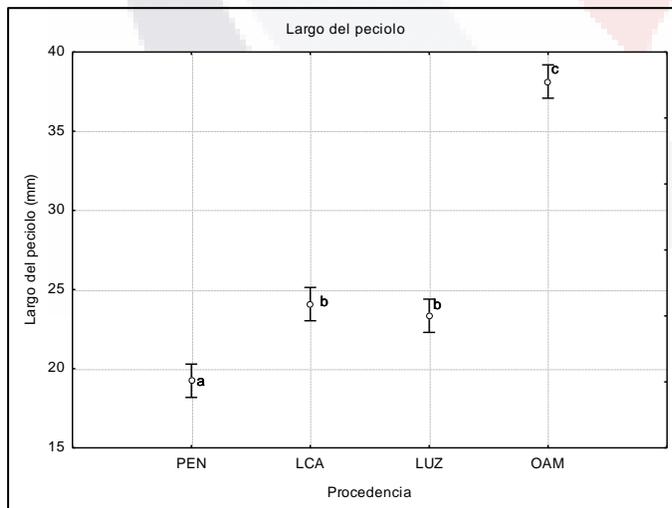


Figura 34. Largo de peciolo.

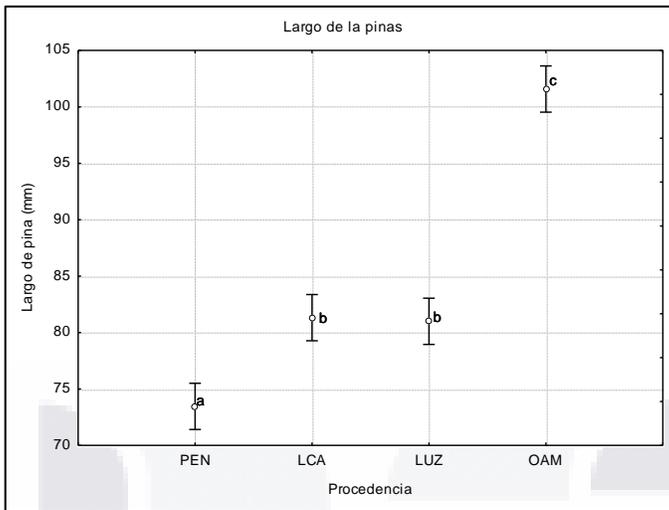


Figura 35. Largo de pinas.

Para el carácter Ancho de las pinas (Fig. 36), se observó un comportamiento similar a los dos caracteres anteriores, aunque en este caso, los sitios PEN y LCA están constituyendo un conjunto similar, diferente significativamente con LUZ y también con OAM, que estos dos últimos mostraron no tener similitudes y ser independientes.

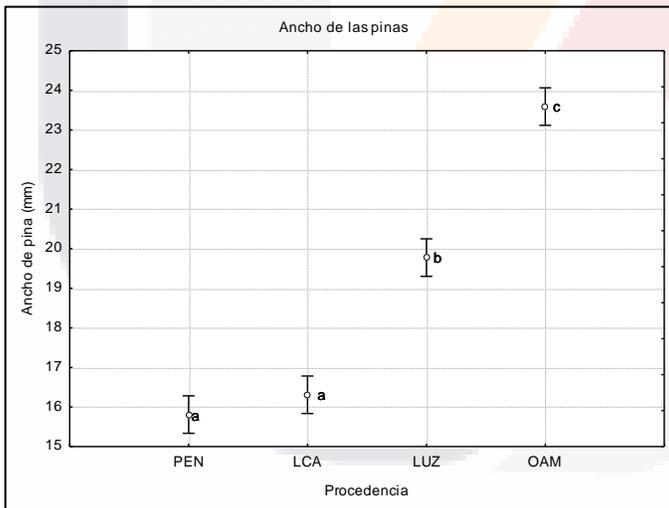


Figura 36. Ancho de las pinas.

Con los Pares de folíolos, existe interacción entre los sitios PEN con LUZ y OAM con LUZ, y LCA forma un conjunto independiente. Existe mayor densidad de folíolos por pina en los individuos del sitio LCA, seguido por el conjunto PEN-LUZ y finalmente OAM-LUZ (Fig. 37).

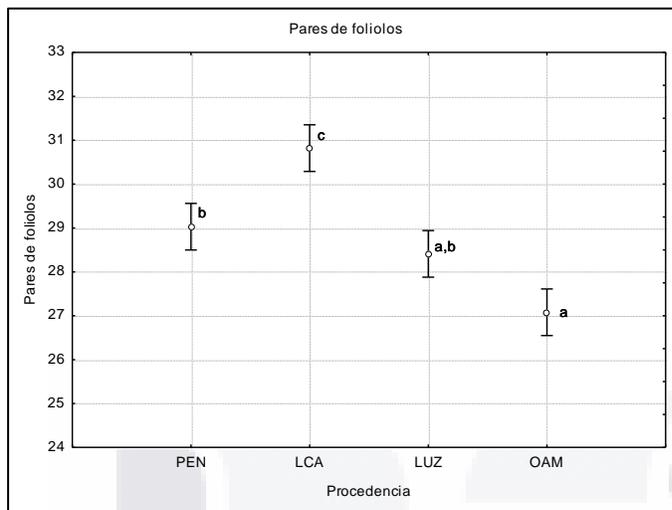


Figura 37. Pares de folíolos.

El comportamiento observado con el Largo de los folíolos es ligeramente inverso al número de pares de folíolos por pina. En el gráfico Figura 38, se muestra que OAM es el sitio con promedio de folíolos más largos de las poblaciones estudiadas, seguido por LUZ, LCA y PEN como el de menor longitud promedio. Cabe señalar que entre la población de OAM y LUZ no hubo diferencias significativas en este carácter, igualmente entre PEN y LCA no hay diferencias significativas, sin embargo se discriminaron dos conjuntos de acuerdo a la prueba de Tukey, obteniendo OAM-LUZ “b” que fue significativamente diferente al conjunto PEN-LCA.

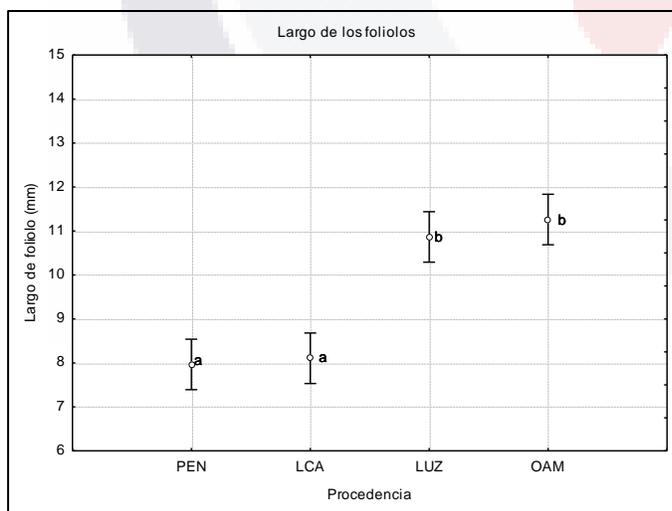


Figura 38. Largo de los folíolos.

Para el Ancho de los folíolos (Fig. 39), solo el sitio OAM fue significativamente diferente a los otros tres sitios, ubicando estos en un solo conjunto sin diferencias significativas de

acuerdo a la prueba de Fisher. OAM presentó los promedios más altos de ancho de foliolo en los cuatro sitios.

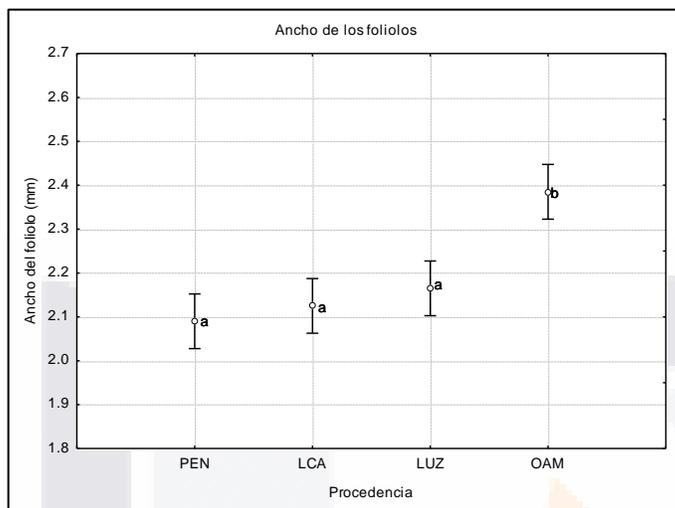


Figura 39. Ancho de los foliolos.

Tanto en la Tabla 18 como en las figuras 34-39, se observa que las diferencias morfológicas más importantes se dan en la población de OAM, con hojas de mayor tamaño, dado que el peciolo y las pinas presentaron las mayores dimensiones, además tiene el menor número de pares de foliolos por pina, pero los de mayor tamaño.

Colecta y caracterización de vainas maduras de cada uno de los árboles

Se obtuvieron vainas con calidad para caracterizar 26 árboles, de los cuales dos provenían de La Luz, siete de Los Caños, nueve de Ojo de Agua de los Montes y ocho de Peñuelas. Sin embargo, a pesar de que no se caracterizaron los 40 árboles semilleros en calidad de vaina, si se obtuvo semilla. En la Tabla 19 se muestran los datos de caracterización por sitio, en la que se registró largo, ancho y número de semillas por vaina.

Tabla 19. Promedio de las medidas en vainas de 26 árboles semilleros.

	PEN	LCA	LUZ	OAM
N	240	210	60	270
Longitud de vaina (cm)	15.67942	16.28524	13.72000	14.32519
Ancho de vaina (cm)	1.087917	0.940476	1.060167	0.877037
No. de semillas	15.1	17.2	11.2	16.6

N: número de muestras.

El análisis de varianza sobre la caracterización de vaina permitió observar conjuntos de sitios por sus diferencias significativas entre sí. De la Longitud de vaina, los sitios PEN y LCA no mostraron diferencias, así como tampoco lo hicieron LUZ con OAM (Fig. 40), pero el conjunto PEN-LCA es significativamente diferente (Tabla 20) al conjunto LUZ-OAM, por lo tanto los sitios PEN-LCA tienen vainas con mayor longitud que LUZ-OAM.

Tabla 20. ANDEVA de Longitud de vaina.

CONDICIÓN	GL	SC	MC	F	p
Sitio	3	640.1	213.4	17.102	0.000000
Error	776	9682.1	12.5		
Total	779	10322.3			

GL: grados de libertad, SC: suma de cuadrados, MC: Cuadrados medios, F: valor *F*, p: significancia

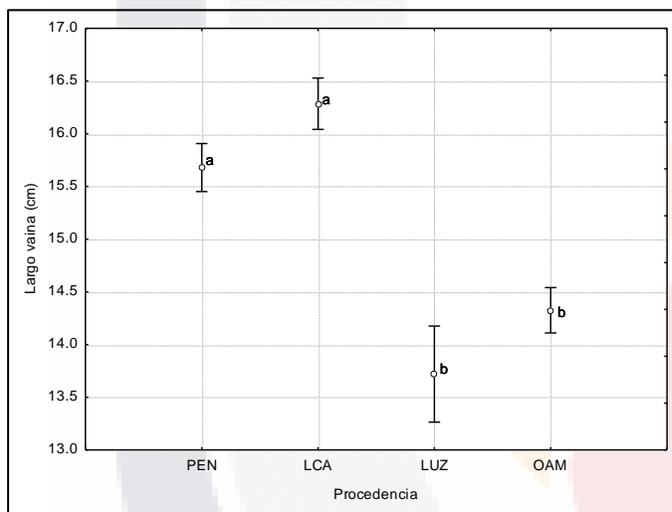


Figura 40. Longitud de vainas.

Se observaron diferencias significativas (Tabla 21) en tres sitios, donde PEN y LUZ son estadísticamente similares, pero con diferencias comparados contra LCA y OAM respectivamente, y entre estos dos últimos existen diferencias. Por lo que PEN y LUZ muestran los promedios de ancho de vaina mayores, seguidos por LCA y el de menor orden OAM (Fig. 41).

Tabla 21. ANDEVA Ancho de vaina.

CONDICIÓN	GL	SC	MC	F	p
Sitio	3	6.3338	2.1113	124.22	0.00
Error	776	13.1894	0.0170		
Total	779	19.5233			

GL: grados de libertad, SC: suma de cuadrados, MC: Cuadrados medios, F: valor *F*, p: significancia

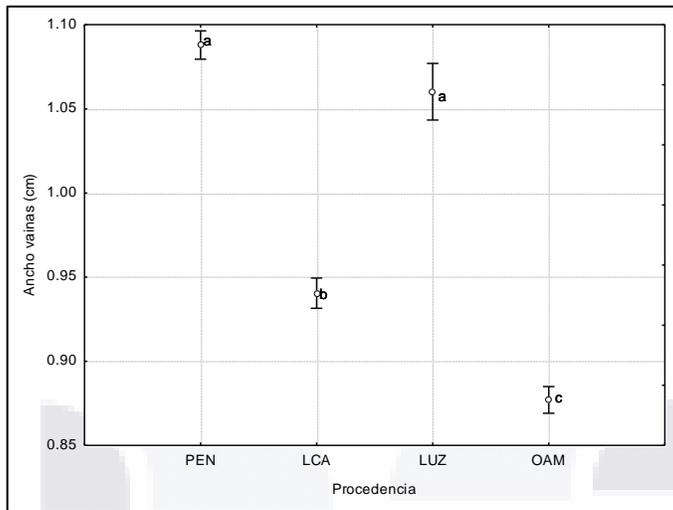


Figura 41. Ancho de las vainas.

Al evaluar los sitios con el número de semillas por vaina (Tabla 22), LCA y OAM exhibieron los promedios más altos, sin diferencias significativas entre ambos, mientras que PEN en segundo término, es significativamente diferente a los dos anteriores como también al sitio LUZ (Fig. 42).

Tabla 22. ANDEVA Número de semillas por vaina.

CONDICIÓN	GL	SC	MC	F	P
Sitio	3	1979.9	660.0	42.338	0.00
Error	776	12096.1	15.6		
Total	779	14075.9			

GL: grados de libertad, SC: suma de cuadrados, MC: Cuadrados medios, F: valor *F*, p: significancia

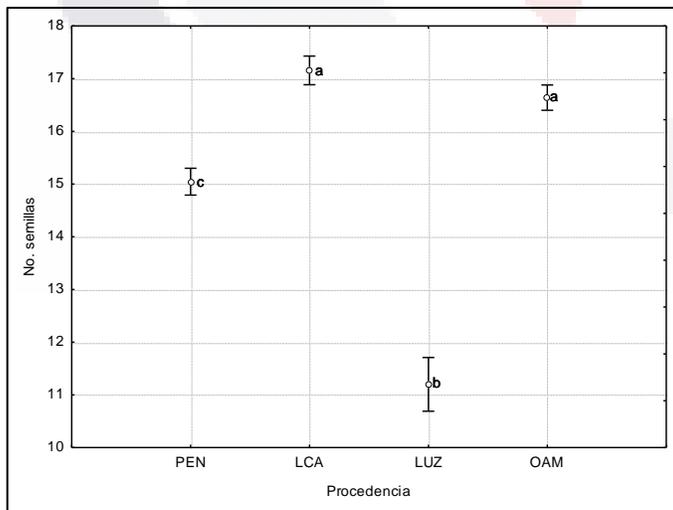


Figura 42. Número de semillas por vaina.

6.2.2. Evaluación genética molecular de los semilleros

6.3. Caracterización de las progenies

6.3.1. Caracterización morfológica

Análisis de germinación

Se caracterizaron 35 árboles en cuanto al peso de semillas, la Tabla 23 resume las cantidades obtenidas en promedio de los árboles analizados de cada sitio.

Tabla 23. Estimación de peso.

Sitio	Peso por 100 semillas (gr)
LUZ	8.3
PEN	12.9
LCA	10
OAM	6.9

En la Tabla 24 se observan los porcentajes de emergencia al término de 90 días de crecimiento.

Tabla 24. Porcentajes de emergencia de semillas de *P. laevigata*.

Procedencia	%
PEN	40.8
LCA	25.8
LUZ	23.9
OAM	24.2

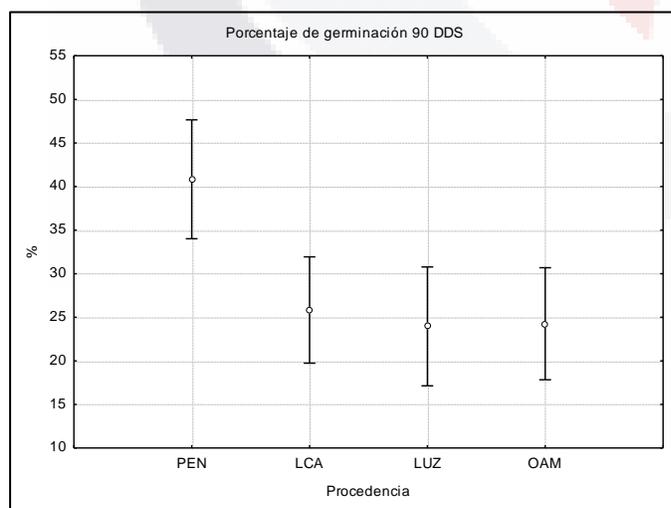


Figura 43. Porcentaje de germinación por sitio de procedencia.

Se obtuvieron 422 plántulas, donde se observaron diferencias en la producción de plántula por sitio. La Figura 44 muestra la aportación de cada uno de los sitios.

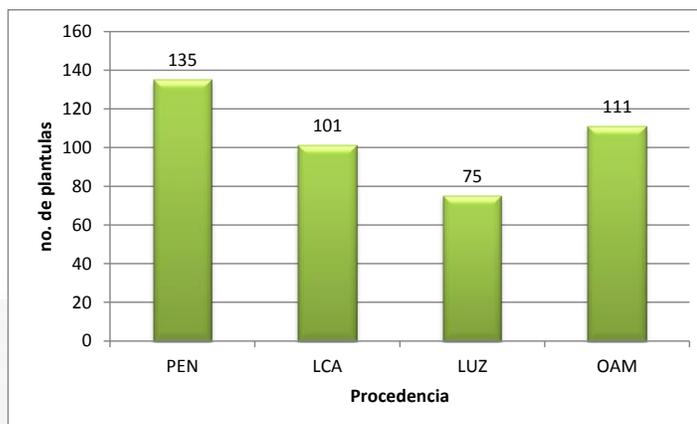


Figura 44. Producción de plántula a los 90 días después de la siembra.

Registro y análisis de datos morfológicos de las progenies

Los resultados de caracterización morfológica de las plántulas de progenies de árboles semilleros de Peñuelas, Ags., se presentan en la Tabla 25, donde se observan las medias de los atributos medidos en una prueba de progenies.

Tabla 25. Promedio de los caracteres morfológicos evaluados a nivel plántula de las progenies de semilleros, expresados en milímetros.

	PROCEDENCIA			
	PEN	LCA	LUZ	OAM
N	135	101	75	111
Altura	67.6	65.9	73.4	67.0
Grosor del tallo	2.0	2.1	2.0	2.1
Largo del peciolo	4.4	4.5	3.8	3.7
Largo de pina	15.0	14.6	13.6	12.6
Ancho de pina	6.8	7.0	6.8	6.0
Pares de foliolos	10.0	9.7	9.3	8.2
Largo de foliolo	3.4	3.5	3.4	3.0
Ancho de foliolo	1.4	1.5	1.3	1.4

N: número de plántulas.

La altura observada en la progenie permite discernir tres conjuntos (Fig. 45), con una diferencia altamente significativa del sitio LUZ(b), en contraste con PEN, OAM y LCA. LUZ tuvo en promedio las plántulas de mayor altura.

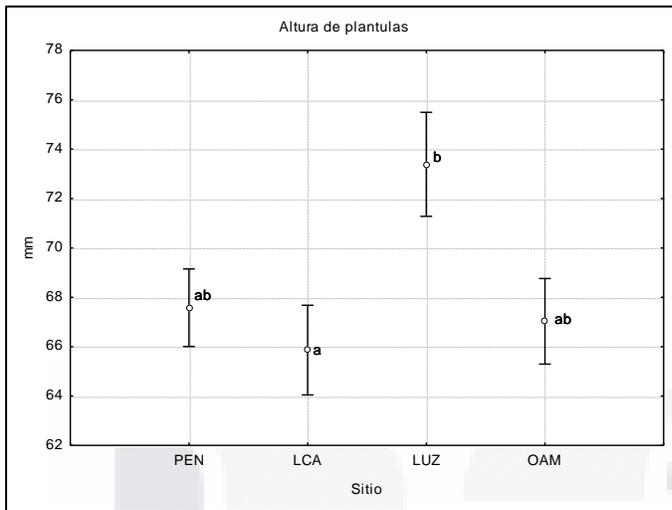


Figura 45. Altura de las plantas en la progenie.

La Figura 46 muestra los promedios de grosor de tallo en la progenie de cada sitio de procedencia, donde el análisis de varianza demostró que no existieron diferencias significativas entre los cuatro sitios o al menos uno de ellos.

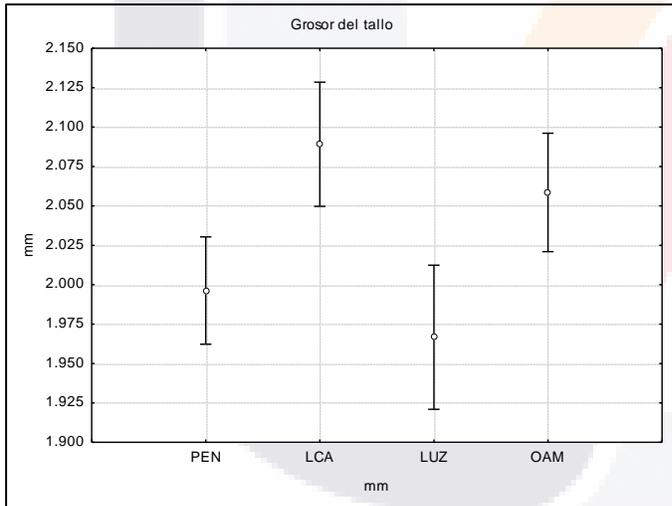


Figura 46. Grosor del tallo en plántulas de la progenie.

Las progenies entre los sitios PEN(a) y LCA(a) no tuvieron diferencias significativas (Fig. 47), sin embargo entre estos en conjunto y los sitios LUZ(b) y OAM(b), hay diferencias altamente significativas, PEN-LCA registraron mayor longitud en el peciolo que LUZ-OAM.

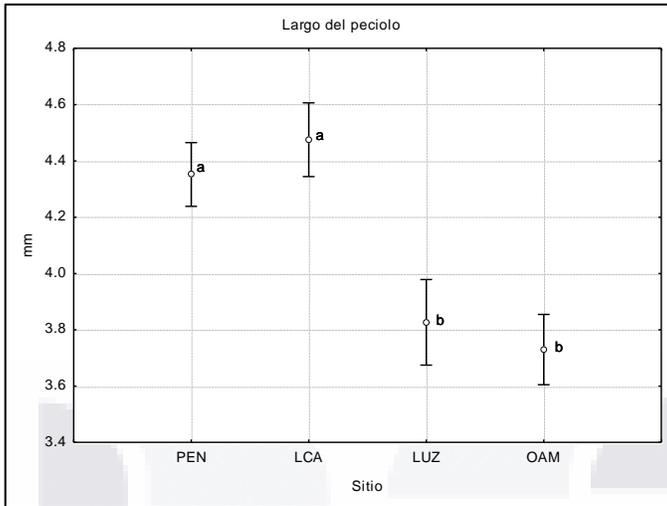


Figura 47. Largo del peciolo en plántulas de la progenie.

En cuanto al largo de la pina, se observaron diferencias entre los cuatro sitios, registrando que los valores del sitio PEN fueron los mayores, seguido por LCA que tiene similitud estadística con PEN y en otro conjunto con LUZ, y el que tuvo menor longitud de pina fue el sitio OAM que es significativamente diferente de los otros tres sitios (Fig. 48).

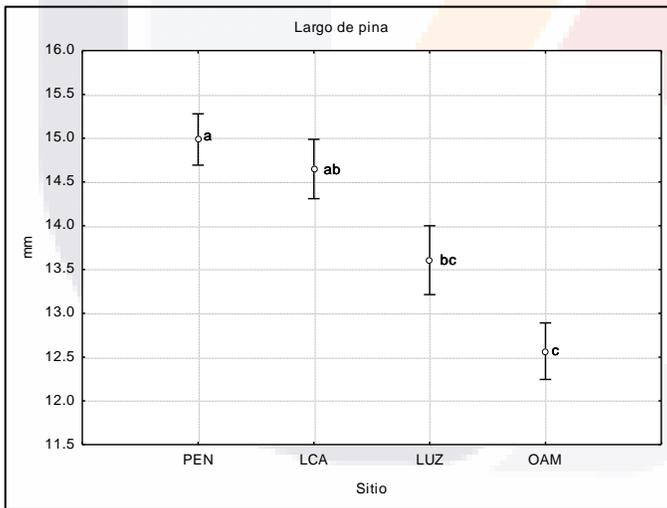


Figura 48. Largo de la pina en plántulas de la progenie.

Los datos del ancho de la pina en la Figura 49, mostraron que el sitio OAM fue el de menor anchura en las pinas y tiene diferencia altamente significativa con los otros tres sitios, que conjuntamente son similares estadísticamente.

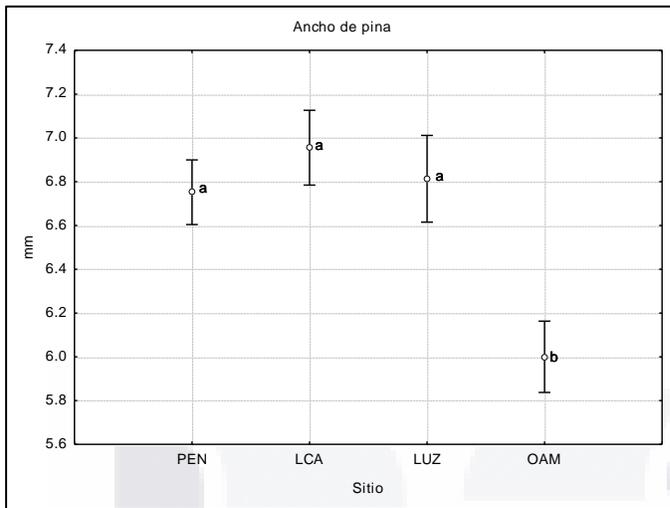


Figura 49. Ancho de pina en plántulas de la progenie.

Similarmente con el número de pares de folíolos por pina, el sitio OAM presentó la menor cantidad y difiere significativamente del conjunto de sitios PEN-LCA-LUZ, que entre sí, son similares estadísticamente (Fig. 50).

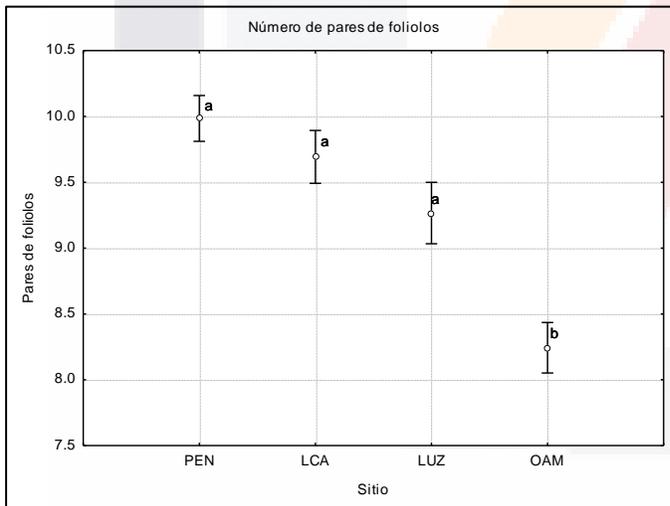


Figura 50. Pares de folíolos por pina en plántulas de la progenie.

La longitud de folíolos (Fig. 51) mostró el mismo patrón que el ancho de la pina (Fig. 49).

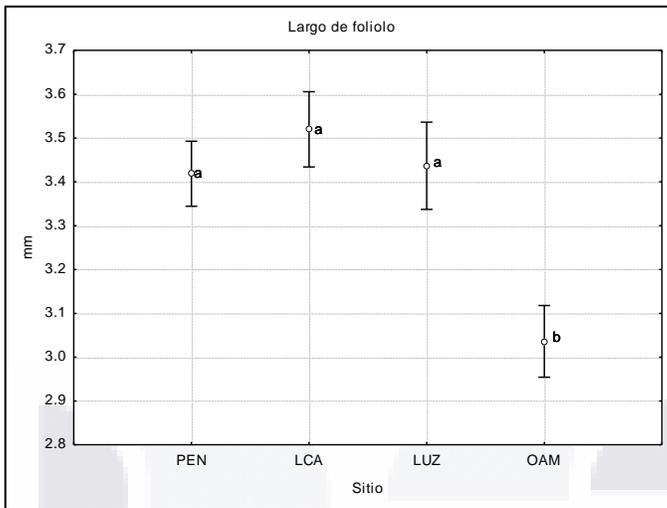


Figura 51. Longitud de los foliolos en plántulas de la progenie.

No se observaron diferencias significativas entre los sitios en cuanto a los datos de ancho de foliolos (Fig. 52).

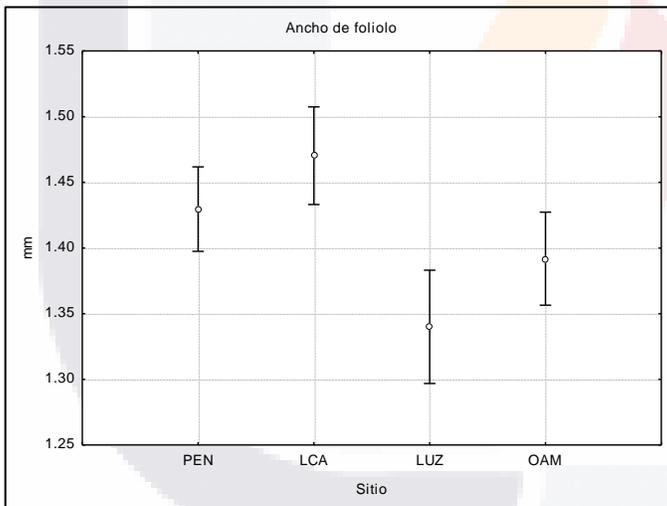


Figura 52. Ancho de los foliolos en plántulas de la progenie.

6.4. Análisis de correlación entre los índices de diversidad (morfológica y genética) de progenitores y progenies y de efectos de sitio y rodal

6.4.1. Índices de diversidad en progenitores (Morfológica y Genética)

6.4.2. Índices de diversidad en progenies (Morfológica y Genética)

VII. DISCUSIÓN

7.1. Caracterización de sitios y rodales

7.1.1. Sitio

Clima

Los datos climatológicos obtenidos difieren entre los cuatro sitios de estudio, la temperatura no representó un elemento que distinguiera a los diferentes sitios, ya que sus temperaturas medias variaron en 1° C, aunque en las medias mínimas hubo diferencias hasta de 4°C, la más baja no alcanza temperaturas mínimas medias menores a 7°C.

A esta temperatura, esta especie reduce su metabolismo en temporada de estiaje entre los meses de octubre a enero, sin embargo en febrero y marzo los individuos comienzan a activar su producción de follaje y floración a pesar de que aún no hay precipitación, esto debido a la disponibilidad de agua en el subsuelo, como lo demuestran estudios de dendroclimatología con otras especies de *Prosopis* (Villalba, *et al.* 2000) que argumenta que el carácter freatófito de *P. flexuosa* le permite hacer uso del agua subterránea, por lo tanto el crecimiento radial podría estar más influenciado por la disponibilidad de agua en capas freáticas que por los ciclos de precipitación; esto explica la sincronía fenológica observada en todos los sitios.

Ajustando lo anterior al carácter que tiene también *P. laevigata* de hábitos freatófitos similares (Simpson y col., 1977 en Golubov y col., 2001). La temperatura parece influir en la activación del ciclo anual del mezquite más no en la tasa de crecimiento de los individuos de las poblaciones en estudio.

El otro factor evaluado, precipitación, se presenta con mayor disparidad, el cual oscila de 373 hasta los 512 mm en su promedio histórico, los sitios pueden acomodarse de un gradiente menor a mayor siendo el menor orden para Ojo de Agua de los Montes, La Luz, Los Caños y mayor para Peñuelas. Aunque no parece ser determinante en la fenología de las poblaciones en estudio, si parece afectar la tasa de crecimiento, de acuerdo a los trabajos de Villalba *et al.*, (2000) sobre estudios preliminares en la localidad de Las Salinas, en La Pampa, Argentina, donde el crecimiento de *P. caldenia* está también controlado por las variaciones interanuales en las precipitaciones, y Morales *et al.*, (2001) en su trabajo con *P. ferox* donde asocia el crecimiento con la disponibilidad de agua en

meses de temporal, favoreciendo el crecimiento por la ocurrencia de veranos lluviosos; esto puede explicar la influencia que pueden tener las condiciones climáticas en las diferencias encontradas en tamaños de los árboles en los cuatro sitios de estudio.

Suelo

Del análisis de suelos se obtuvieron datos de los componentes cuantitativos expresados en la Tabla 11, mismos que explican las diferencias en calidad de suelo entre los cuatro sitios. Se optó por utilizar muestras de ambos lados en los cuatro sitios, tanto bajo como fuera de la copa de los árboles. Trabajos como el de Tiedemann y Klemmedson (1973) donde exponen los efectos del mezquite en las propiedades físicas y químicas del suelo, comparando muestras dentro y fuera de los doseles, demuestran que existen algunas diferencias en las propiedades físicas y químicas del suelo.

Con excepción de pH y conductividad eléctrica, las diferencias significativas de contenido de arena, arcilla, limo, materia orgánica y carbono orgánico encontradas en al menos uno de los sitios, confirman la variedad de sitios en cuanto a calidad de sitio, en este sentido, la calidad de suelo. Estas condiciones son similares a las que se mencionan en una revisión de domesticación de mezquite en el Chaco argentino, donde diferentes condiciones forman un espectro de ambientes que aseguran poblaciones adaptadas a cada ambiente (Palacios y Brizuela, 2005).

En el comparativo de los muestreos en parcelas bajo y fuera de la copa, no se encontraron diferencias con alguno de los componentes en los cuatro sitios de forma conjunta, no obstante, individualmente, el sitio Los Caños presentó diferencias respecto al contenido de materia orgánica y carbono orgánico, en donde mostró más contenido de ambos componentes bajo la copa que fuera de la copa, soportando la hipótesis de Tiedemann y Klemmedson (1973) de que los mezquites enriquecen el suelo bajo sus copas a expensas del capital de nutrientes en suelo de las áreas abiertas, los mezquites efectúan una redistribución de nutrientes desde el suelo hacia las partes de la planta y por caída se integran en la capa superficial bajo la copa de la misma planta.

En todos los sitios el pH permaneció sin cambios, al igual que entre parcelas de muestreo, esto concuerda con resultados en un trabajo de interacciones de carbono-nitrógeno en islas de fertilidad donde obtuvieron una ligera diferencia entre suelo en suelo desnudo y el suelo bajo la copa, pero no fue significativa (Perroni-Ventura, *et al*, 2010). Sin embargo

Luna-Suárez, *et al*, (1998) encontraron pH de 5.4, 6.0 y 6.4 entre suelo desnudo, suelo bajo la copa y suelo bajo la copa con alta densidad de materia orgánica respectivamente, en comparación con el presente estudio no se aprecian diferencias significativas pero hay consistencia en que el suelo fuera de la copa de los árboles suele ser menos ácido que bajo la copa. La Figura 17 confirma esta consistencia, que en 3 de 4 sitios hay tendencia a tener el suelo más ácido bajo la copa de los mezquites.

Los contenidos de materia orgánica y de carbono orgánico, exhibieron comportamientos similares, entre sitios se encontró la formación de tres conjuntos de acuerdo a sus diferencias significativas, en los que los sitios Peñuelas y La Luz tienen similitudes estadísticas en porcentaje de materia orgánica y carbono orgánico, mientras que Ojo de Agua de los Montes forma un segundo conjunto “a” y Los Caños forma el conjunto “c”, siendo los de menor y mayor porcentaje de materia orgánica y carbono orgánico respectivamente.

De los componentes anteriores, el sitio Los Caños presentó diferencias como las que reporta Reyes-Reyes (2003) donde obtuvo diferencias significativas en contenido de carbono orgánico entre suelos bajo copa de mezquite y fuera de copa. En su estudio, Luna-Suárez (1998) atribuye que las altas concentraciones de materia orgánica son el resultado del depósito de hojarasca del mezquite bajo su copa.

7.1.2. Caracterización de rodales

De acuerdo a los datos mostrados en la Tabla 12, se observó que Ojo de Agua de los Montes, el sitio que presuntamente tuvo la menor calidad de suelo, presentó la mayor riqueza de especies asociadas a *P. laevigata*. Y por lo contrario el sitio Peñuelas exhibe la menor riqueza de especies de los cuatro sitios, a pesar de tener un suelo profundo y de buena calidad según el análisis de suelos. Esta información no resultó plausible para explicar la calidad de sitio.

Igualmente lo anterior contrasta con Huenneke y Noble (1996), quienes afirman que las características del suelo son una influencia importante en la diversidad de plantas en una región. Correlacionan las concentraciones de ciertos nutrientes minerales y sus proporciones con la riqueza de especies, asimismo la textura del suelo, material parental y posición topográfica se correlacionan con la distribución de especies.

Sin embargo, estas diferencias de riqueza de especies pueden ser más atribuibles al grado de impacto que tiene el hombre sobre los sitios. Los cuatro sitios están sometidos a diferentes intensidades de pastoreo, lo que evita el desarrollo de sucesiones vegetales naturales y por lo tanto no permite el desarrollo de una comunidad diversa asociada a mezquites en estos sitios. Por esto un indicador más explicativo para identificar la calidad de sitio fue el utilizar únicamente la densidad de población únicamente de *P. laevigata*.

Lo que sí pudo observarse es una relación entre la accesibilidad de los sitios con la riqueza de especies asociadas, esto es, en sitios más alejados a asentamientos urbanos como Ojo de Agua de los Montes se encontró mayor riqueza, seguido por La Luz. El caso de Los Caños, es atribuible al control de acceso limitado que hay al predio, lo que confiere menor influencia de destrucción humana, comparada con Peñuelas que existe libre acceso a toda persona y está muy cercano a un asentamiento, encontrándose mayor impacto sobre el sitio, incluso incendios en uno de los años en que se visitó el lugar.

7.2. Caracterización de árboles semilleros

7.2.1. Caracterización morfológica de árboles semilleros

La variabilidad encontrada en tamaños de los individuos de los sitios de estudio es evidente en las figuras 27 – 29. Se observó que existe un orden consistente en tamaños, Los Caños como el sitio con los individuos de mayor talla, seguido por Peñuelas, La Luz y el de menor orden Ojo de Agua de los Montes. Estas diferencias son similares a las que se encuentran en diversos estudios en *Prosopis* en especies sudamericanas (Julio, *et al.*, 1999; Palacios y Brizuela, 2005) y otros en estudios de adaptación a variaciones ambientales en especies de coníferas (Rehfeldt, 1984), los primeros infieren que la adaptación es debida más a la plasticidad fenotípica que a cambios en frecuencias génicas; el segundo autor, atribuye esta variabilidad estrategias de homeostasis o “flexibilidad genética”, que es la capacidad de mantener funciones fisiológicas óptimas bajo un amplio rango de ambientes, esto origina que un genotipo pueda producir diferentes fenotipos dependiendo del ambiente donde las especies crecen.

La morfometría de las hojas concibe información que complementa los datos dasométricos, confirmando la existencia de variabilidad morfológica entre los cuatro sitios de estudio. Estas diferencias son evidentes con la población de Ojo de Agua de los Montes, que tuvo una diferenciación altamente significativa en todos los caracteres, a

excepción de Ancho de foliolo. Similares resultados fueron obtenidos por Verga, *et al.* (2009), quienes caracterizaron algarrobos de la región Chaqueña y Espinal, Argentina; utilizando caracteres morfológicos de hoja lograron discriminar poblaciones de *P. alba* atribuyendo estas diferencias a diferenciación genética. Sin embargo Earl, (2003) hace mención que los efectos ambientales que causan estrés, inducen la aparición de hojas de menor tamaño, por la fijación de genes favorecidos para esta expresión.

Aunque en el caso de las poblaciones evaluadas en este trabajo, se observó un gradiente opuesto al argumento de Earl, (2003), encontrando en los individuos de Ojo de Agua de los Montes foliolos de mayor tamaño, pinas de mayor longitud por lo tanto hojas más grandes, pero con el menor número de pares de foliolos por pina. Esta configuración de hoja en la que se reduce la superficie foliar es una respuesta fisiológica evidente al déficit hídrico, ya que éste sitio es el que tiene la menor precipitación. Comparando con sitios como Peñuelas o Los Caños donde el sitio es un valle con mayor precipitación, se observaron las hojas de menor tamaño pero con una proporción inversa de número de pares de foliolos, incrementando la superficie foliar.

En el mismo sentido, el mezquite por su naturaleza de freatofita (Smith, 1997), de acuerdo a la disponibilidad de agua en el subsuelo, desarrolla mayores superficies foliares durante temporadas de estiaje. Mismo fenómeno observado en los cuatro sitios de estudio, habiendo mayor superficie foliar en poblaciones que presentan mayor disponibilidad de agua.

Otro carácter evaluado fue la vaina (fruto), mismo que no resultó muy explicativo estadísticamente debido a la escasez de material. Aunque ligeramente se puede percibir que hay una relación con la Longitud de vaina y el Número de semillas por vaina, la cual refleja un orden similar en los sitios, cuanto mayor es el tamaño de la vaina, incrementa el número de semillas, a excepción de la población de Ojo de Agua de los Montes, donde se encontró mayor número de semillas en vainas más cortas.

7.3. Caracterización de las progenies

7.3.1. Caracterización morfológica de progenies

La germinación observada está por debajo de los resultados obtenidos por D'Aubeterre y col. (2002) con la misma especie *P. laevigata*, utilizando el mismo método de escarificación obtuvo un porcentaje de 53%. De los porcentajes registrados de

germinación, las progenies de Peñuelas tuvieron el mayor con 40.8%, comparado con el resto de sitios, mismos que tienen similar porcentaje entre los tres, que es alrededor del 25%.

De los datos morfológicos de las plántulas el sitio LUZ es el que tiene plántulas de mayor altura en promedio. OAM tiene el peciolo más corto, así como también la pina más corta, la menor anchura de pina, el menor número de pares de folíolos y los folíolos más cortos también. Esto es que algunas variables evaluadas resultaron explicativas para el sitio OAM.

Para la variable largo de pina se observaron dos grupos similares, PEN con LCA y LUZ con OAM, permitiendo ver que las hojas de los primeros dos sitios cuentan en promedio con un peciolo más largo que el segundo grupo.

Para el ancho de la pina hay una marcada tendencia gradual de disminución de tamaño conforme se cambia de sitio en el orden de PEN, LCA, LUZ y OAM. Siendo éste último el de pina más corta.

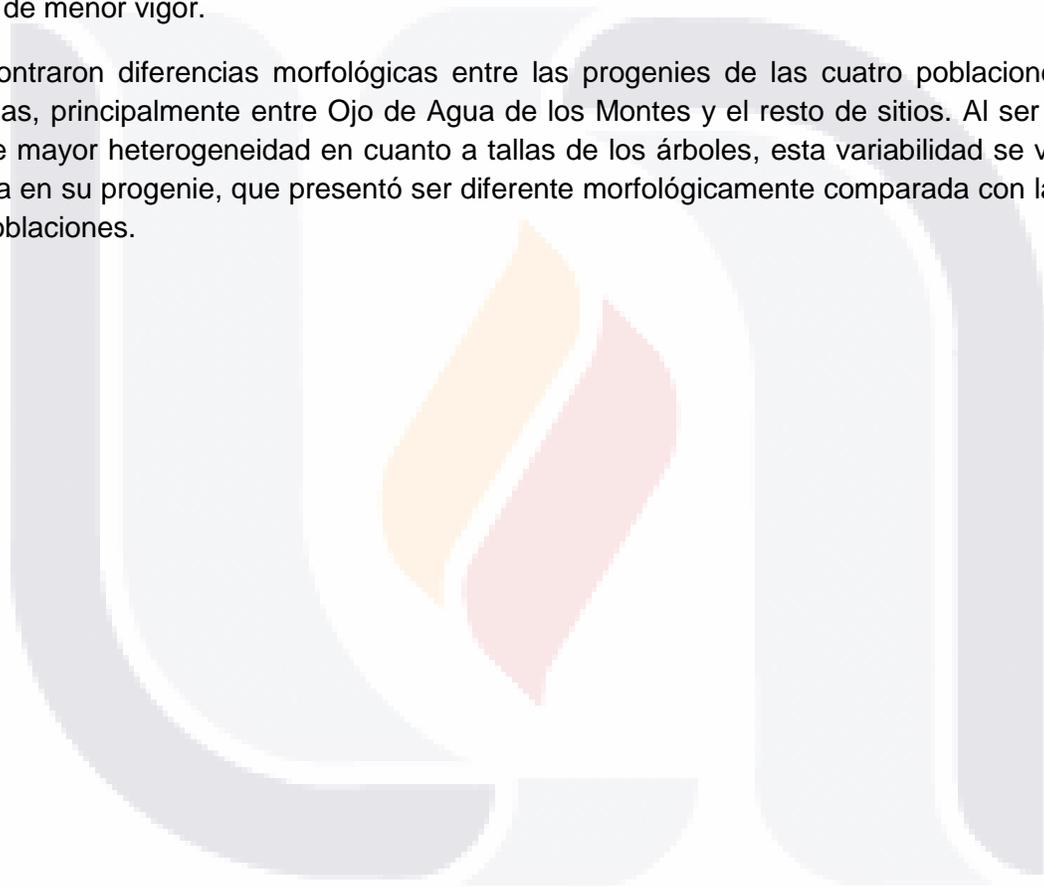
De los pares de folíolos, se observa que se forma un grupo entre PEN, LCA y LUZ juntos y otro con solo OAM, habiendo únicamente diferencias significativas con éste último elemento. Mismo comportamiento se observó con el número de pares de folíolos por pina, y longitud de los mismos donde OAM forma un grupo independiente, apuntando a éste como la procedencia con progenies con menor número de folíolos por hoja.

CONCLUSIONES

Entre los cuatro sitios evaluados, de los factores físicos evaluados para calidad de sitio, la precipitación hace diferencia entre los cuatro sitios, mientras que de suelo Ojo de Agua de los Montes tiene suelos de mayor calidad, aptos para buen desarrollo de mezquite y otras especies.

Se encontró variabilidad morfológica entre los árboles semilleros de los cuatro sitios evaluados. Los árboles de mayor vigor se encuentran en los sitios Peñuelas y Los Caños, en tanto que en Ojo de Agua de los Montes y La Luz se encontraron las poblaciones con árboles de menor vigor.

Se encontraron diferencias morfológicas entre las progenes de las cuatro poblaciones evaluadas, principalmente entre Ojo de Agua de los Montes y el resto de sitios. Al ser el rodal de mayor heterogeneidad en cuanto a tallas de los árboles, esta variabilidad se vio reflejada en su progenie, que presentó ser diferente morfológicamente comparada con las otras poblaciones.



GLOSARIO

Anaerobia: Adjetivo. Dicho de un organismo: Que puede vivir sin oxígeno.

Biomasa: Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.

Desertificación: Transformar en desierto amplias extensiones de tierras fértiles.

Eólica: Producido o accionado por el viento.

Erosión: Desgaste de la superficie terrestre por agentes externos, como el agua o el viento.

Germoplasma: Cualquier parte de las plantas de los bosques, selvas y semidesierto que puede generar otra nueva planta, puede ser a través de semillas, estacas, rebrotes, puntas, hijuelos, entre otros.

Hábitat: Lugar de condiciones apropiadas para que viva un organismo, especie o comunidad animal o vegetal.

Holoceno: Se dice de la época más reciente del período cuaternario, que abarca desde hace unos 10 000 años hasta nuestros días.

Microbiota: Organismos microscópicos.

Planta nativa: especie que pertenece a una región o ecosistema determinados

Polinizador: Organismo que realiza el paso o tránsito del polen desde el estambre en que se ha producido hasta el pistilo en que ha de germinar.

Progenie: Descendencia o conjunto de hijos de alguien.

Rodal: Conjunto de plantas que pueblan un terreno diferenciándolo de los colindantes.

Trófico: Perteneiente o relativo a la nutrición o alimentación de algún organismo.



BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, R., Ashworth, L., Calviño, A. y Quesada, M. 2012. What is left after sex in fragmented habitats? Assessing the quantity and quality of progeny in the endemic tree *Prosopis caldenia* (Fabaceae). *Biological Conservation* **152**: 81-89.
- Alban L., Matorel M., Romero J., Grados N., Cruz G. y Felker P. 2002. Cloning of elite, multipurpose trees of the *Prosopis juliflora/pallida* complex in Piura, Peru. *Agroforestry Systems*. **54**: 173–182
- Bessega C., Saidman B. y Vilardi J. 2005. Genetic relationships among American species of *Prosopis* (Leguminosae) based on enzyme markers. *Genetics and Molecular Biology*. **28**, 2:277-286
- Bessega C., Saidman B., Darquier M., Ewens M., Felker P. and Vilardi J. 2011. Accuracy of dominant markers for estimation of relatedness and heritability in an experimental stand of *Prosopis alba* (Leguminosae). *Tree Genetics & Genomes*. **7**:103-115.
- Brizuela, M. 2007. Crecimiento y exomorfología de plántulas de *Prosopis alba* Griseb. y *Prosopis hassleri* Harms en condiciones uniformes de cultivo. *Revista Científica Agropecuaria* **11**(1):15-21
- Brown, J. and Archer, S. 1987. Woody plant seed dispersal and gap formation in a North American subtropical savanna woodland: the role of domestic herbivores. *Vegetatio*. **73**: 73-80
- Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO), Instituto del Medio Ambiente del Estado de Aguascalientes (IMAE), Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA). 2008. *La Biodiversidad en Aguascalientes: estudio de estado*. Mexico. 389 pp.
- Connin, L., Virginia, R. y Chamberlain, P. 1997. Carbon isotopes reveal soil organic matter dynamics following arid land shrub expansion. *Oecologia* **110**:374–386.
- D'Aubeterre, R., Principal, J. y Garza, J. 2002. Efecto de diferentes métodos de escarificación sobre la germinación de tres especies del género *Prosopis*. *Revista Científica* **7**(2): 575-577.
- Dugas, W. y Mayeux, H. 1991. Evaporation from rangelands with and without mesquite. *Journal of Range Management* **44**: 161-170.
- Earl, P. 2003. The leaf design of Mexican mesquites (*Prosopis*, Mimosoideae). *Forest Ecology and Management*. **181**: 323-330.

East, R. y Felker, P. 1993. Forage production and quality of 4 perennial grasses grown under and outside canopies of mature *Prosopis glandulosa* Torr. Var. *glandulosa* (mesquite). *Agroforestry Systems* **22**: 91-110.

Felker, P., Clark, P., Osborn, J. y Channell, G. 1984. *Prosopis* Pod Production--Comparison of North American, South American, Hawaiian, and African Germplasm in Young Plantations. *Economic Botany*. **38** (1): 36-51.

Goel, V. y Behl, H. 2001. Genetic selection and improvement of hard wood tree species for fuelwood production on sodic soil with particular reference to *Prosopis juliflora*. *Biomass and Bioenergy* **20**:9-15

Golubov, J., Mandujano, M. y Eguiarte, L. 2001. *Boletín de la sociedad botánica de México*. **69**:23-30.

Hernández P., Dorado G., Laurie D., Martín A. y Snape J. 2001. Microsatellites and RFLP probes from maize are efficient sources of molecular markers for the biomass energy crop *Miscanthus*. *Theoretical and Applied Genetics*. **102**: 616 – 622.

Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. *Climate Change 2007 Mitigation: Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. U.S.A. 851 pp.

Janzen, D. 1986. Chihuahuan desert nopaleras: defaunated big mammal vegetation. *Annual Review of Ecology and Systematics*. **17**: 595-636

Juarez-Muñoz J., Carrillo-Castañeda G., Arreguin R. y Rubluo A. 2002. Inter- and intra-genetic variation of four wild populations of *Prosopis* using rapd-pcr fingerprints. *Biodiversity and Conservation*. **11**: 921–930.

Julio, N., Joseau, J., Saidman, B. y Vilardi, J. 1999. Análisis de relación entre variables genéticas y ambientales en poblaciones de *Prosopis chilensis* (Leguminosae) de Argentina y Chile. En: Verzino, G., Carranza, C., Ledesma, M., Joseau, J. y Di Rienzo, J. *Adaptative genetic variation of Prosopis chilensis (Mol) Stuntz Preliminary results from one test-site*. *Forest Ecology and Management* **175**: 119-129.

Lal, R. 2003. Carbon sequestration in dryland ecosystems. *Environmental Management* **33**(4): 528-544.

Luna-Suárez S., Luna-Guido M., Frías-Hernández J., Olalde-Portugal V., y Dendooven L. 1998. Soil processes as affected by replacement of natural mesquite ecosystem with maize crop. *Biology and Fertility of Soils*. **27** :274–278

Manzano MG y Navar J. 2000. Processes of desertification by goats heavy grazing in the Tamaulipan thornscrub (matorral) in northeastern Mexico. *Journal of Arid Environments*, **44**(1): 1–17.

Maldonado-Aguirre L., J. y De la Garza P., F. 2000. El mezquite en México: Rasgos de importancia productiva y necesidades de desarrollo. En: Frias – Hernández J. T., Olalde – Portugal V. y Vernon – Carter, V. El mezquite, árbol de usos múltiples. Universidad de Guanajuato, México. p. 13 – 35.

McVaugh, R. 1987. Flora Novo-Galiciana. Volumen 5 Leguminosae. The University of Michigan Press. Estados Unidos de América. 786pp.

Myburg A., Remington D., O'Malley D., Sederoff R. y Whetten R. 2001. High-Throughput AFLP Analysis Using Infrared Dye-Labeled Primers and an Automated DNA Sequencer. *Bio Techniques*. **30**: 348-357

Nolte, K. y Fulbright, T. 1997. Plant, small mammal and avian phenology of warm desert legumes. *Journal of Arid Environments* **20**: 299-311

Palacios, R. A., Hoc, P. S., Burghardt, A. D. y Vilela, A. E. 2000. *Prosopis* L.: Biodiversidad y Clasificación, Estrategias Adaptativas, Reproductivas e Importancia Económica. En: Frias – Hernández J. T., Olalde – Portugal V. y Vernon – Carter, V. El mezquite, árbol de usos múltiples. Universidad de Guanajuato, México. p. 13 – 35.

Palacios R. y Brizuela M. 2005. *Prosopis*: Historia y Elementos para su Domesticación. *Agrociencia* **9** (1,2):41-51

Palacios R., Burghardt A., Frías-Hernández J., Olalde-Portugal V., Grados N., Alban L. y Martínez-de la Vega O. 2012. Comparative study (AFLP and morphology) of three species of *Prosopis* of the Section Algarobia: *P. juliflora*, *P. pallida*, and *P. limensis*. Evidence for resolution of the “*P. pallida* – *P. juliflora* complex”. *Plant Systematics and Evolution*. **298**: 165-171.

Rehfeldt, J. 1984. Microevolution of conifers in the northern Rocky Mountains: a view from common gardens. En: Verzino, G., Carranza, C., Ledesma, M., Joseau, J. y Di Rienzo, J. Adaptive genetic variation of *Prosopis chilensis* (Mol) Stuntz Preliminary results from one test-site. *Forest Ecology and Management* **175**: 119-129.

Reyes-Reyes, B., Zamora-Villafranco, E., Reyes-Reyes, M., Frías-Hernández, J., Olalde-Portugal y Dendooven, L. 2003. Decomposition of leaves of huisache (*Acacia tortuosa*) and mesquite (*Prosopis* spp) in soil of the central highlands of Mexico. *Plan and Soil* **256**:359-370.

Rzedowski, J. 1978. Vegetación en México. LIMUSA.

Rzedowski, G. C. de y J. Rzedowski, 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. 2da ed., Instituto de Ecología, A. C. y CONABIO, Veracruz, México. 1406pp.

Silbert, M. 1996. A Mesquite Pod Industry in Central Mexico: An Economic Development Alternative. The Nature Conservancy.

Smith, S., Monson, R. y Anderson, J. 1997. Physiological Ecology of North American Desert Plants. Springer Berlin Heidelberg. p. 165-177.

Tiedemann, A. y Klemmedson, J. 1973. Effect of Mesquite on Physical and Chemical Properties of the Soil. *Journal of Range Management* **26**: 27-29

Vega M. y Hernández P. 2005. Molecular evidence for natural interespecific hybridization in *Prosopis*. *Agroforestry Systems*. **64**: 197-202

Villalba, R., Villagra, P., Boninsegna, J., Morales, M y Moyano, V. 2000. Dendroecología y dendroclimatología con especies del género *Prosopis* en Argentina. *Multequina* **9** (2): 1-18.

Villegas-Espinosa J., Rueda-Puente E., Murillo-Amador B., Puente M., Grimaldo-Juárez O., Avilés-Marín S. y Ponce-Medina J. 2010. Efecto de la inoculación de *Azospirillum halopraeferens* y *Bacillus amyloliquefaciens* en la germinación de *Prosopis chilensis*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. **12** (1): 19-32.

Vos, P., Hogers, R., Bleeker, M., Reijans, M., Van de Lee, T., Hornes, M., Frijters, A., Pot, J., Peleman, J., Kuiper, M. y Zabeau, M. 1995. AFLP: a new technique for DNA fingerprinting. *Nucleic Acids Research*. **23** (21):4407-4414.

Yates CJ, Norton DA y Hobbs RJ. 2000. Grazing effects on plant cover, soil and microclimate in fragmented woodlands in southwest Australia: implications for restoration. *Australian Ecology*, 25 (1): 36–47.

Zare S, Tavili A y Javad-Darini M. 2011. Effects of different treatments on seed germination and breaking seed dormancy of *Prosopis koelziana* and *Prosopis juliflora*. *Journal of Forestry Research*. **22** (1): 35-38.