



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTADES DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA

**PROGRAMA MULTIDISCIPLINARIO DE POSGRADO EN
CIENCIAS AMBIENTALES**

**VEGETACIÓN ACTUAL Y POTENCIAL Y SU RESTAURACIÓN
EXPERIMENTAL EN EL ÁREA "PARQUE URBANO PASEO DE LA PRESA"
SAN LUIS POTOSÍ, S. L. P.**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

PRESENTA:

ING. CARLOS SANDOVAL MÉNDEZ

**DIRECTOR DE TESIS:
DR. JUAN ROGELIO AGUIRRE RIVERA**

COMITÉ TUTELAR:

**DR. JUAN ROGELIO AGUIRRE RIVERA
DR. HILARIO CHARCAS SALAZAR
DR. JOEL DAVID FLORES RIVAS**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTADES DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA

**PROGRAMA MULTIDISCIPLINARIO DE POSGRADO EN
CIENCIAS AMBIENTALES**

**VEGETACIÓN ACTUAL Y POTENCIAL Y SU RESTAURACIÓN
EXPERIMENTAL EN EL ÁREA "PARQUE URBANO PASEO DE LA PRESA"
SAN LUIS POTOSÍ, S. L. P.**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

PRESENTA:

ING. CARLOS SANDOVAL MÉNDEZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JUAN ROGELIO AGUIRRE RIVERA



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTADES DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA

**PROGRAMA MULTIDISCIPLINARIO DE POSGRADO EN
CIENCIAS AMBIENTALES**

**VEGETACIÓN ACTUAL Y POTENCIAL Y SU RESTAURACIÓN
EXPERIMENTAL EN EL ÁREA "PARQUE URBANO PASEO DE LA PRESA"
SAN LUIS POTOSÍ, S. L. P.**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

PRESENTA:

ING. CARLOS SANDOVAL MÉNDEZ

**DIRECTOR DE TESIS:
DR. JUAN ROGELIO AGUIRRE RIVERA**

COMITÉ TUTELAR:

**DR. JUAN ROGELIO AGUIRRE RIVERA
DR. HILARIO CHARCAS SALAZAR
DR. JOEL DAVID FLORES RIVAS**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTADES DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA

**PROGRAMA MULTIDISCIPLINARIO DE POSGRADO EN
CIENCIAS AMBIENTALES**

**VEGETACIÓN ACTUAL Y POTENCIAL Y SU RESTAURACIÓN
EXPERIMENTAL EN EL ÁREA “PARQUE URBANO PASEO DE LA PRESA”
SAN LUIS POTOSÍ, S. L. P.**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES

PRESENTA:

ING. CARLOS SANDOVAL MÉNDEZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JUAN ROGELIO AGUIRRE RIVERA

SINODALES:

PRESIDENTE:

DR. JUAN ROGELIO AGUIRRE RIVERA _____

SECRETARIO:

DR. HILARIO CHARCAS SALAZAR _____

DRA. JESSICA VIRIDIANA GARCÍA MEZA _____



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTADES DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA

PROGRAMA MULTIDISCIPLINARIO DE POSGRADO EN
CIENCIAS AMBIENTALES

VEGETACIÓN ACTUAL Y POTENCIAL Y SU RESTAURACIÓN
EXPERIMENTAL EN EL ÁREA "PARQUE URBANO PASEO DE LA PRESA"
SAN LUIS POTOSÍ, S. L. P.

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES

PRESENTA:

ING. CARLOS SANDOVAL MÉNDEZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JUAN ROGELIO AGUIRRE RIVERA

SINDICALES:

PRESIDENTE:

DR. JUAN ROGELIO AGUIRRE RIVERA

SECRETARIO:

DR. HILARIO CHARCAS SALAZAR

DRA. JESSICA VIRIDIANA GARCÍA MEZA

LA TESIS TITULADA “VEGETACIÓN ACTUAL Y POTENCIAL Y SU RESTAURACIÓN EXPERIMENTAL EN EL ÁREA “PARQUE URBANO PASEO DE LA PRESA”, SAN LUIS POTOSÍ, S.L.P.” SE REALIZÓ EN EL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE ZONAS DESÉRTICAS DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ.

**CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CONACYT)
BECA CONVENIO NÚM. 186424**

El programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales (PMPCA), recibe apoyo a través del Programa de Fortalecimiento al Posgrado Nacional (PIFOP-SEP).

**Fue dirigida por:
Dr. Juan Rogelio Aguirre Rivera**

**Asesorada por:
Dr. Hilario Charcas Salazar
Dr. Joel David Flores Rivas**

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Juan Rogelio Aguirre Rivera, por su amistad, la dirección de esta tesis, la gran enseñanza sobre el tema y compartir sus conocimientos.

Al Dr. Hilario Charcas Salazar, por sus atinados comentarios para la realización de esta tesis.

Al Dr. Joel David Flores Rivas, por sus observaciones para la elaboración de esta tesis.

A la Dra. Jessica Viridiana García Meza, por las correcciones a esta tesis y apoyo.

Al MC. J. Carmen Rodríguez García, por su amistad y contribución en la descripción de los suelos en el área de estudio, así como parte importante en la plantación de las especies propuestas en este trabajo.

Al Sr. José García Pérez, por la colaboración en la identificación de las especies vegetales utilizadas en este trabajo.

Al Ing. Agustín G. Villegas Villarreal, por su amistad y comentarios a esta tesis.

Al Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias ambientales por contribuir en mi formación y por el gran apoyo que siempre tuve del personal que lo conforma.

Al Instituto de Investigación de Zonas Desérticas de la UASLP, por el apoyo recibido para la elaboración de este trabajo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada.

Al Sistema de Investigación Miguel Hidalgo (SIHGO), a través del Convenio No. 20000206017, por los recursos otorgados para la realización del trabajo de campo.

Al Ing. Raymundo Limón Olvera presidente del Patronato Pro-Regeneración del Camino a la Presa de San José. A.C., por la contribución a este trabajo.

Al H. Ayuntamiento de San Luis Potosí 2004-2006, por su autorización y apoyo para el acceso a las áreas de Parque Urbano Paseo de la Presa de San José, donde se situaron las parcelas experimentales.

DEDICATORIA

A DIOS

POR DARMER LO MÁS HERMOSO DE LA VIDA: UNA FAMILIA Y
GRANDES AMIGOS.

A MI AMADA ESPOSA ESTHELA

POR SU GRAN AMOR Y APOYO INCONDICIONAL EN MOMENTOS
DIFÍCILES.

A MIS HIJOS CARLOS EMMANUEL Y PRISCILA VIANNEY

POR SER LA FORTALEZA Y ORGULLO EN MI VIDA.

A MIS PADRES

POR DARMER LA VIDA Y SABIOS CONSEJOS

A MIS HERMANOS Y HERMANAS

POR SU APOYO Y CONFIANZA.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE CUADROS	v
RESUMEN	vi
SUMMARY	vii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	7
2.1 Recursos forestales en San Luis Potosí	8
2.2 Áreas naturales protegidas	9
2.3 Parque urbano Paseo de la Presa de San José	10
2.3.1 Antecedentes históricos	12
2.3.2 Declaratoria oficial	12
2.4 Restauración ecológica	13
2.5 Importancia y beneficio de la restauración ecológica	15
2.6 La restauración ecológica en México	18
2.7 Utilización de especies nativas	20
2.8 Utilización de especies exóticas o introducidas	22
3. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	24
3.1. Situación geográfica y topográfica	24

3.2	Clima	24
3.3	Suelo	26
3.4	Vegetación	27
3.5	Fauna	28
3.6	Uso actual del suelo	30
4.	MATERIALES Y MÉTODOS	31
4.1	Parcelas experimentales	31
4.1.1	Parcelas experimentales en lomas con suelos y niveles intermedios de humedad edáfica	32
4.1.2	Parcelas experimentales en laderas pedregosas, con suelos someros erosionados	34
4.1.3	Parcelas experimentales en cañadas con suelos profundos y mayor disponibilidad de humedad	36
4.2	Modelo de restauración ecológica	38
4.3	Distribución de los plantones en las parcelas experimentales	39
4.3.1	Especies y plantas de las parcelas experimentales en la geoforma loma	40
4.3.2	Especies y plantas de las parcelas experimentales en la geoforma ladera	42
4.3.3	Especies y plantas de las parcelas experimentales en la geoforma cañada	44
4.4	Elección final de las especies y recolecta de semilla	45
4.5	Producción de plantones	46
4.5.1	Germinación de la semilla	47
4.5.2	Producción de plántula en contenedor	48
4.5.3	Transplante de plántula del contenedor a bolsa de polietileno	50

4.6 Desarrollo de plántones	50
4.7 Plantación en las parcelas experimentales	51
4.7.1 Ubicación, cavadura y preparación de hoyos o cepas	51
4.7.2 Selección, preparación y traslado de plántones	51
4.7.3 Colocación de plántones y su tratamiento final	52
4.7.4 Evaluación de la plantación	52
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIÓN	65
7. LITERATURA CITADA	66

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Localización y delimitación del Parque Urbano Paseo de la Presa de San José.	11
Figura 2. Esquema de las parcelas de la geoforma loma, con las divisiones o subparcelas de 10 x 10 m, y asignación de plantones por forma vital	41
Figura 3. Esquema de las parcelas de la geoforma ladera, con las divisiones o subparcelas de 10 x 10 m, y asignación de plantones por forma vital	43
Figura 4. Esquema de las parcelas de la geoforma cañada, con las divisiones o subparcelas de 10 x 10 m, y asignación de plantones por forma vital	45

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Localización de las estaciones climatológicas	25
Cuadro 2. Temperatura promedio mensual (°C) para el periodo 1990 a 2005	25
Cuadro 3. Temperatura máxima extrema mensual (°C) para el periodo 1990 a 2005	26
Cuadro 4. Temperatura mínima extrema mensual (°C) para el periodo 1990 a 2005	26
Cuadro 5. Precipitación total mensual (mm) para el periodo 1990 a 2005	26
Cuadro 6. Modelo de restauración ecológica proyectado (Py) y realizado (Re) para el Parque Urbano Paseo de la Presa	39
Cuadro 7. Supervivencia media de cinco plántones de especies arbóreas en las cuatro parcelas de la goeforma loma	55
Cuadro 8. Supervivencia media de cuatro plántones de especies arbustivas en las cuatro parcelas de la goeforma loma	56
Cuadro 9. Supervivencia media de veinte plántones de especies herbáceas en las cuatro parcelas de la goeforma loma	57
Cuadro 10. Supervivencia media de cinco plántones de especies arbóreas en las cuatro parcelas de la goeforma ladera	57
Cuadro 11. Supervivencia media de cuatro plántones de especies arbustivas en las cuatro parcelas de la goeforma ladera	58
Cuadro 12. Supervivencia media de veinte plántones de especies herbáceas en las cuatro parcelas de la goeforma ladera	59
Cuadro 13. Supervivencia media de cuatro plántones de especies arbóreas en las cuatro parcelas de la goeforma cañada	60
Cuadro 14. Supervivencia media de veintiséis plántones de especies arbustivas en las cuatro parcelas de la goeforma cañada	60
Cuadro 15. Supervivencia media de cuarenta plántones de especies herbáceas en las cuatro parcelas de la goeforma cañada	61
Cuadro 16. Supervivencia (%) de algunas especies repobladas experimentalmente en las geoformas más xéricas del Parque Urbano Paseo de la Presa de San José. S.L.P	63
Cuadro 17. Supervivencia (%) de algunas especies repobladas experimentalmente en las geoformas del Parque Urbano Paseo de la Presa de San José. S.L.P	64

RESUMEN

La restauración ecológica es el conjunto de acciones, cuyo objetivo final es el de reconstruir un ecosistema que ha sufrido alguna perturbación importante, generalmente derivada de actividades humanas. El área de estudio donde se desarrolló este trabajo, se localiza alrededor de la presa de San José, situada sobre el río Santiago, la cual se encuentra en las afueras de la ciudad de San Luis Potosí. El objetivo general, fue elaborar y desarrollar un modelo de restauración en áreas severamente degradadas, así como probar técnicas para la producción y establecimiento de plántones de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas nativas. La metodología comprendió las siguientes acciones: a) diseño de los tres tipos de comunidades a reconstruir; b) propagación de plantas; c) acondicionamiento de parcelas experimentales y plantación; d) evaluación del proceso de restauración. Se reconocieron tres geoformas y su vegetación potencial correspondiente. En cada geoforma se dispuso de cuatro parcelas experimentales, las cuales fueron distribuidas regularmente en toda su extensión. De las 65 especies que conformaron el modelo general de restauración, 20 fueron arbóreas, 29 arbustivas y 16 herbáceas. Los plántones sobrevivientes en más que el 40 % correspondieron a 11 especies arbóreas, 28 especies arbustivas y 14 herbáceas. Podemos concluir que la importancia de utilizar una amplia diversidad de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas nativas, permitió en este trabajo, elegir las especies más adecuadas para cada geoforma en la restauración ecológica del área de estudio y zonas colindantes.

Palabras clave: Restauración ecológica, geoformas, parcelas experimentales, especies nativas.

SUMMARY

The ecological restoration is the group of actions, which final objective is to reconstruct an ecosystem which has suffered some important disturbance, generally as a result of human activity.

The area of study where this work was developed, is located around the San Jose dam, on Río Santiago Blvd., this is located on the environs of San Luis Potosi capital. The general objective, was to design and develop a restoration model in severe degraded areas, but also to test techniques for the production and establishment of plantones, which included native species of trees, shrub and herbaceous plants.

The methodology comprised the following actions: a) the design of the three kinds of communities that were reconstructed; b) plants propagation; c) conditioning of experimental plots of ground and plantation; d) evaluation of the restoration process. Three geoformas and their potentially proper vegetation were recognized. In each geoforma, four experimental plots of ground were used, which were equally distributed in the whole extension.

Sixty five (65) species made up the general restoration model, of these, 20 were trees, 29 were shrub and 16 were herbaceous plants.

The surviving plantones were more than the 40% and corresponded to: 11 trees, 28 shrub and 14 herbaceous plants.

We can conclude that the importance of using a broad diversity of native species of trees, bushes and herbaceous plants, allowed to choose the most suitable species for each geoforma in the ecological restoration of the area of study and adjacent areas.

Key words: ecological restoration, geoformas, experimental plots of ground, native species.

1. INTRODUCCIÓN

El poder transformador y dominante de los humanos sobre su medio es motivo de preocupación, ante la perspectiva de un mundo que va perdiendo su capacidad para sostener a la población humana, que crece y modifica su medio en una forma aparentemente incontenible. Las evidencias de la destrucción y deterioro del ambiente están a la vista de todo aquel que quiera apreciarlas (Vázquez, 1982).

Las poblaciones humanas para poder subsistir, han obtenido los recursos directamente de los ecosistemas mediante la caza y la recolecta, y luego los han alterado severamente para dedicar sus espacios a la producción agropecuaria y forestal. Así, los recursos naturales se han deteriorado al utilizarlos en forma inadecuada; en la mayoría de los casos esta mala utilización, se debe principalmente al desconocimiento de los procesos ecológicos que ocurren en los ecosistemas, provocando que se altere su composición, estructura y funcionamiento. Posteriormente, se ha intentado ocasionalmente reconstruir el ecosistema degradado, pero partiendo de la introducción de elementos bióticos ajenos, y no de los que existían con anterioridad, procurando un modelo de ecosistema muy distinto al original.

Martínez (2000) señala que el resultado de la explotación y manejo inadecuado de los recursos naturales, ha generado una problemática ambiental en el mundo, la cual en muchos casos se debe al desconocimiento de los procesos ecológicos que ocurren en los ecosistemas.

Entre las consecuencias más evidentes de las actividades humanas sobre el entorno está la desaparición de la cobertura vegetal. Algunas de las causas principales de esta alteración ecológica son las actividades primarias, como la agricultura y la ganadería, pero no son menos importantes ciertos aprovechamientos forestales. Esta forma de relación del humano con la naturaleza ha ocasionado la transformación de los hábitats y con ello, en ocasiones, no sólo su pérdida, sino incluso la desaparición de especies (Benítez *et al.*, 2004).

Por ello, se puede señalar que con la expansión de la agricultura y ganadería, así como con el crecimiento del urbanismo hacia áreas de protección, se ha reducido cada vez

más el tamaño de los ecosistemas naturales; en consecuencia, la presencia de relictos de vegetación natural son cada vez más escasos.

La percepción que la sociedad tiene sobre la cobertura vegetal ha cambiado muy significativamente en las últimas décadas. El valor que se le daba como aportadora ilimitada de recursos naturales renovables, se ha ido sustituyendo paulatinamente gracias a la evidencia científica en contra y a una mayor conciencia ambiental social. Se ha demostrado que la capacidad de recuperación de la naturaleza es limitada y que transgredir los límites naturales de recuperación produce impactos irreversibles en el funcionamiento de los ecosistemas (Anónimo, 2001).

Vázquez y Batís (1996) y Vázquez *et al.* (1997) señalan que la eliminación total o parcial de la cubierta vegetal es una práctica fundamental en la acción colonizadora humana; estos autores señalan que muy pocas áreas del territorio nacional contienen aún comunidades ecológicas inalteradas.

México, como fragmento de las tierras emergidas de la corteza terrestre, reúne una serie de características excepcionales para que su mosaico de comunidades naturales sea particularmente variado. En poco menos de dos millones de kilómetros cuadrados caben casi todos los paisajes naturales que es posible encontrar en nuestro planeta. Desde los desiertos más áridos hasta las selvas y pantanos más húmedos, desde los matorrales tropicales más cálidos hasta los páramos de montaña casi en contacto con nieves eternas. Esto se debe al hecho de que México se encuentra en la zona de transición entre el mundo tropical de Centroamérica y el Caribe y el subtropical y templado de Norteamérica. La flora y la fauna de ambos orígenes se reúnen en México, pero esa mezcla se vuelve aun más compleja por darse sobre un mosaico variadísimo de altitudes, climas, tipos de roca y de suelo e historias geológicas (Vázquez y Batís, 1996).

La biodiversidad de México ha sido utilizada de forma irracional al ser objeto de una extracción continua, al considerarse inagotable y al suponer que estos recursos tienen la capacidad de asimilar cualquier tipo y cantidad de sustracción. El resultado de ello ha sido la enorme pérdida y degradación de los recursos naturales del país.

Las estimaciones que se han hecho de la riqueza florística de México indican que la diversidad de sus plantas es una de las mayores del mundo. Según los cálculos más

recientes el número de especies de plantas vasculares presentes en México se aproxima a 22, 000, la mayoría de las cuales son prácticamente desconocidas (Vázquez *et al.*, 1997). De las decenas de miles de especies de plantas que han evolucionado sobre la superficie terrestre, el ser humano contemporáneo sólo utiliza un número insignificante que no llega ni al 1% del total de las especies alguna vez aprovechadas (Vázquez y Batis, 1996).

Manzanilla (1985, citado por Vázquez y Batis, 1996)) señala que México ha sufrido, a través de los siglos, una disminución radical de la superficie arbolada, tanto en bosques de altura como en las selvas de las planicies costeras. Asimismo comenta que antes de la colonización humana del territorio de México, su superficie arbolada posiblemente era de alrededor del 60% del total. Cuando llegaron los conquistadores, los bosques y selvas posiblemente cubrían cerca del 56% del territorio y en 1984 la superficie arbolada se había reducido al 22%.

Benítez *et al.* (2004) señalan que como parte de las estrategias para propiciar un desarrollo sustentable, es deseable que todos los esfuerzos posibles se dirijan a conservar los remanentes de vegetación prístina que aún existan, prevenir su pérdida en el futuro y favorecer el restablecimiento, en lo posible, de las comunidades naturales desaparecidas. Sin embargo, MacKinnon *et al.* (1990) indica que la influencia humana sobre el planeta es ya demasiado grande como para imaginar que alguna área silvestre sea totalmente “natural” o estable, y que cualquier acción de protección de la naturaleza, se trate de una sola especie importante o de un ecosistema completo, requiere de una intervención para asegurar el mantenimiento de un ambiente apropiado.

De Zavala *et al.* (2004) señalan que cuando el nivel de degradación es muy alto, la comunidad puede haber perdido la posibilidad de recuperarse por sí sola, bien porque el escenario ecológico haya cambiado demasiado, bien porque ha desaparecido parte de las especies autóctonas y la recolonización natural es muy lenta, o incluso prácticamente imposible por la fragmentación del paisaje, o bien porque lo que ahora tenemos es una comunidad dominada por especies exóticas. Zamora (2002, citado por De Zavala *et al.*, 2004) comenta que bajo estas circunstancias, no puede apelarse a una sucesión ecológica redentora que recupere el ecosistema perdido. Las labores de restauración deben ir dirigidas

a acelerar los mecanismos naturales de sucesión, la re-introducción de especies autóctonas y la recuperación de interacciones ecológicas.

Vázquez y Batís (1996) señala que la falta de estudios profundos sobre la flora arbórea de México y sus potencialidades de establecimiento y desarrollo en diferentes ambientes ha determinado que muchas de las especies de árboles que se utilizan en los programas de reforestación y protección del suelo sean especies introducidas.

En algunos trabajos (Anónimo, 2004-2005), se indica que la deforestación y degradación de los ecosistemas forestales en el país sucede por diversas causas, como es el cambio en el uso del suelo, los aprovechamientos clandestinos, el sobrepastoreo y los incendios forestales. Esto es, que normalmente está determinada por factores sociales, culturales, económicos y políticos.

En México las reforestaciones se han basado principalmente en especies exóticas como *Eucaliptus* spp., *Casuarina* spp. y *Pinus radiata*, entre otras, que en la mayoría de los casos contribuyen muy poco al mejoramiento del ambiente y a las expectativas de aprovechamiento de la población rural. Esta tendencia se debe a la escasez de estudios sobre la biología de especies nativas útiles y por consecuencia se desconoce la forma de propagarlas masivamente y de lograr su establecimiento exitoso (Arriaga *et al.*, 1994).

González Vicente (1984, citado por Vázquez y Batís, 1996) señala que un caso particularmente ilustrativo es el de *Pinus radiata* del Oeste de la Unión Americana. Este pino se utiliza ampliamente en proyectos de reforestación de las montañas del centro de México, a pesar de que esta especie es atacada por un gran número de parásitos y no parece estar muy bien adaptada a las condiciones ambientales de las montañas mexicanas. Aunque en México existen más de 38 especies de pino, se ha utilizado esta especie sólo porque es más sencillo importar su semilla que instaurar un programa de recolección de semilla y producción de plántones en viveros. Es un ejemplo clásico de una planeación deficiente de los programas de reforestación.

Cetina (1997) menciona que el fuerte deterioro de los recursos forestales de México evidencia la creciente necesidad de reforestar eficazmente, tanto con fines comerciales como ecológicos. Este autor señala que los programas de reforestación que se han hecho en el país con frecuencia fracasan, debido a la pobre sobrevivencia y adaptación de las plantas

utilizadas, y a la heterogeneidad del estado físico y fisiológico de los plántones, lo cual es un claro indicador de la baja calidad de la planta que se genera en los viveros oficiales.

En nivel nacional, los resultados muestran claramente que se necesita de una nueva metodología que incluya la utilización de especies nativas, lo cual no sólo contribuiría a la conservación del germoplasma propio, sino también, al utilizar especies adecuadas a las condiciones ambientales locales, se podría asegurar un mayor éxito de esta práctica, y despertar el interés de los pobladores locales al tratarse de plantas con beneficios conocidos (Arriaga *et al.*, 1994).

Así mismo, Arriaga *et al.* (1994) mencionan que en México es muy común que la reforestación se intente en terrenos completamente degradados, en general por uso agrícola y por haber soportado el sobrepastoreo o una explotación forestal sin manejo adecuado. Para rehabilitar este tipo de terrenos se tendrá que recurrir a estrategias de restauración que permitan, en pasos sucesivos, recuperar las características necesarias para que se puedan establecer las especies adecuadas.

Se ha señalado (Anónimo, 1998) que la deforestación en México estimada por la FAO en 1995 es de alrededor de 508,000 ha/año, lo que nos ubica en este respecto en el cuarto lugar en nivel mundial. Sin embargo dichas estimaciones mundiales de la FAO y las oficiales de México, excluyen a los matorrales y otros tipos de vegetación no arbórea. Hasta la fecha las estimaciones realizadas en México son de carácter subjetivo y carecen de un fundamento estadístico que les dé la confiabilidad necesaria. Asimismo, independientemente de las estimaciones oficiales, diferentes instituciones y personas han aventurado cifras, cuyas diferencias y variación entre ellas han contribuido a crear confusión y desconfianza sobre las estadísticas de deforestación en el país.

Según Allen (2003), los intentos de restauración de ecosistemas perturbados en el mundo están teniendo distinto éxito. Las principales limitaciones para recuperar dichos ecosistemas han sido la baja diversidad de especies nativas, la invasión de especies exóticas agresivas, las condiciones de sustratos pobres, las condiciones que han cambiado y ya no permiten los regímenes de perturbación naturales, y la falta de ecosistemas de referencia apropiados, entre otras.

Entonces, es posible señalar que para plantear una restauración de ecosistemas perturbados es necesario que la recuperación y conservación se considere a largo plazo. Es importante enfatizar que una restauración ecológica es diferente a la creación de nuevos hábitats, a las reforestaciones tradicionales, o bien a tratar de mejorar áreas degradadas mediante la utilización de especies vegetales indistintas. La restauración implica la reintroducción de especies nativas de flora y fauna, o de aquellas amenazadas por la degradación ecológica. La capacidad para restaurar un ecosistema dependerá del conocimiento que se tenga del mismo, así como del grado de perturbación, disponibilidad de biota nativa, y del grado de alteración de la hidrología, la geomorfología y los suelos. Es importante señalar que a pesar de que no se logre recuperar la vegetación que anteriormente existía, es posible inducir el desarrollo y establecimiento de una vegetación que permita conservar parte de la diversidad, lo cual eventualmente puede propiciar que el ecosistema se restablezca.

La restauración debe llevarse a cabo preferentemente mediante el uso de especies autóctonas, arbóreas, arbustivas y herbáceas, de forma tal, que la vegetación adquiera complejidad estructural en el menor tiempo posible.

En el área del Parque Urbano Paseo de la Presa (PUPP), se observan los escasos programas relacionados con el manejo de sus recursos naturales, así como el impacto ambiental que ha sufrido; se desconoce que exista alguna evaluación que permita fundamentar un manejo apropiado del PUPP. Las pocas plantaciones que se han realizado carecen de objetivos y métodos adecuados de establecimiento; y es evidente la nula utilización de especies vegetales nativas apropiadas para dicha área, la inexistente introducción de especies de fauna nativa, el poco mantenimiento a las áreas verdes y la falta de limpieza y protección del arroyo que corre a lo largo del parque.

Con base a lo anterior, para el presente trabajo se plantearon los siguientes objetivos.

- Desarrollar y probar un modelo de restauración de áreas severamente degradadas.
- Elaborar los modelos de comunidades vegetales requeridos, con base en los remanentes existentes en el área de estudio, referencias bibliográficas y

comunidades cercanas con ambientes físicos similares, pero mucho mejor conservadas.

- Desarrollar y probar técnicas para la producción y establecimiento de plántones de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas nativas.

2. ANTECEDENTES

Agua, suelo, vegetación y fauna forman la parte sustantiva de la estructura de los ecosistemas forestales; ante su deterioro por la actividad humana, es necesario restaurar y conservar estos ecosistemas y permitir su desarrollo productivo para beneficio y conservación del propio género humano (Anónimo, 2002). En efecto, la desaparición de comunidades naturales está ocurriendo a una velocidad muy superior a las posibilidades de realizar investigaciones para conocer su composición, estructura y procesos de renovación, por lo que probablemente desaparecerán sin que las hayamos conocido a fondo y tomado las medidas pertinentes para su conservación (Vázquez, 1982).

México es reconocido como el cuarto país del mundo en importancia por su diversidad y proporción de especies endémicas. Esta riqueza constituye un patrimonio nacional, que es prioritario conservar por su enorme potencial de generar beneficios ecológicos, sociales y económicos (Anónimo, 1994). En particular, el estado de San Luis Potosí, por su variedad en aspectos fisiográficos, climáticos y de vegetación, representa una interesante zona desde el punto de vista florístico, tanto en sus regiones planas y áridas, como en las montañas subhúmedas (García, 1999).

El estado de San Luis Potosí se encuentra ubicado en la parte centro-nororiental de la república mexicana, entre las coordenadas geográficas 21° 03'35" a 24° 33'25" de latitud norte y 99° 19'40" a 103° 17'30" de longitud oeste. Con su extensión de 64, 304.74 km² ocupa el decimoquinto lugar nacional en tamaño; en su territorio convergen las dos regiones biogeográficas del continente: Neártica y Neotropical, así como tres de las provincias bióticas del país (Martínez de la Vega, 1995). Este estado es atravesado en su extremo boreal por el trópico de Cáncer; la mayor parte de su extensión se localiza sobre la Altiplanicie de México y otras fracciones corresponden a la Sierra Madre Oriental y a la Planicie Costera del Golfo de México. Morfológicamente consta de una sucesión de llanuras y sierras alargadas en el sentido N-S, en forma de escalones que suben desde casi el nivel del mar hasta unos 2000 m de altitud las primeras, y hasta unos 3000 m las segundas. Predominan las rocas sedimentarias: calizas, aluviones, margas y lutitas, pero hacia el SW son abundantes las rocas ígneas, principalmente riolitas (Rzedowski, 1961).

El valle de San Luis Potosí se encuentra situado entre los 21°57' y 22°30' latitud N y los 100°38' y 101°15' al W de Greenwich; ocupa la porción SW del estado, con longitud y anchuras máximas de unos 60 por 60 km. La forma general es la de un triángulo de aproximadamente 2500 km² de superficie; más o menos en el centro, un poco hacia el SW se encuentra la capital del estado (Calderón, 1957). El municipio de San Luis Potosí se encuentra localizado en la zona centro del estado; su cabecera municipal tiene las siguientes coordenadas: 100°58' de longitud oeste y 22°09' de latitud norte, con una altura de 1,860 metros sobre el nivel del mar. La superficie total del municipio es de 1,443.14 km² y representa el 2.38% del territorio estatal (Anónimo, 2001).

El área de estudio donde se desarrolló este trabajo, se localiza alrededor de la presa de San José, situada sobre el río Santiago, la cual se encuentra en las afueras de la ciudad de San Luis Potosí. La cercanía a esta ciudad con más de 400 años de fundada explica el deterioro severo de las áreas aledañas a la presa y del camino hacia ella, deterioro no sólo de su biota casi erradicada por el sobrepastoreo, tala y cacería, sino también de su paisaje terrestre debido a la extracción de materiales y al depósito desordenado de escombros y basura.

Se puede suponer que en el área actual del Parque Urbano Paseo de la Presa (PUPP) existía en la época prehispánica un bosque abierto de pino y encino, con elementos del matorral crasicaule, en las lomas y las laderas, y un bosque de galería confinado a la cañada (vegetación primaria o potencial). Relictos de vegetación en áreas colindantes al parque, con hábitats físicos similares, presentan condiciones de conservación más aceptables, y contienen individuos de especies vegetales que actualmente ya no existen en el parque. Actualmente en el PUPP sólo se pueden observar algunos individuos aislados de mezquites y huizaches.

2.1 Recursos forestales en San Luis Potosí

Rzedowski (1961) menciona que numerosas especies de árboles se usaban entonces para cercas, postes, durmientes de ferrocarril, leña y elaboración de carbón. Aunque parece que nunca ha habido en el municipio de San Luis Potosí explotaciones madereras en mayor

escala, en general la utilización de los árboles ha sido para fines de construcción, elaboración de muebles, utensilios, etc.

Con base en las clasificaciones del Inventario Nacional Forestal de México (Anónimo, 1994) se calcula que la superficie arbolada con potencial para la producción maderable comercial en el estado es de 254,000 ha. Con la incorporación paulatina de superficies arboladas al manejo forestal y el uso de técnicas silvícolas más eficientes, se estima que para el año 2020 se podrían extraer en el estado 369,800 m³ de maderas por año.

2.2 Áreas naturales protegidas

Un área natural protegida (ANP) es un excelente laboratorio viviente para alcanzar objetivos de investigación y constituir un punto de comparación, a través del cual puedan medirse y compararse los efectos ambientales de varias formas de uso del suelo; esto es, las ANP ofrecen una valiosa oportunidad para el estudio básico y aplicado y para la enseñanza práctica de diversas disciplinas, como la biología, botánica, zoología, entomología, evolución, ecología, sociobiología, etología, ingeniería forestal y agronomía (MacKinnon *et al.*, 1990).

Las ANP se deben considerar como zonas conservadas de ecosistemas naturales, así como de preservación de la biodiversidad. La protección de las especies vegetales y animales, y los beneficios ambientales, sociales y económicos que aportan las ANP, justifican porqué se deben incrementar los medios económicos para que funcionen adecuadamente.

MacKinnon *et al.* (1990) menciona que las ANP también contribuyen a la conservación de recursos vivos y al desarrollo sostenido, ya que:

- Mantienen la estabilidad ambiental de la región circundante y con ello reducen la intensidad de inundaciones y sequías, protegiendo al suelo de la erosión y limitando los extremos de los climas locales.
- Mantienen la capacidad productiva de los ecosistemas, asegurando así la disponibilidad continua del agua y de materiales animales y vegetales.
- Proveen oportunidades para la investigación y la monitorización de especies silvestres y ecosistemas, y su relación con el desarrollo humano.

- Proveen oportunidades para los programas de educación ambiental, para el público en general, y para quienes dirigen la política.
- Proveen oportunidades para el desarrollo rural y el uso racional de tierras marginadas.
- Proporcionan bases para la recreación y el turismo.

Las ANP son espacios de uso público para conservar y preservar los ecosistemas, de esparcimiento para la población, así como de rescate de valores históricos y riqueza natural. Sin embargo, MacKinnon *et al.* (1990) señalan que la población urbana es generalmente indiferente hacia la conservación de la vida silvestre, ya que la influencia que la naturaleza ejerce sobre ella es aparentemente leve o indirecta; así mismo, estos autores comentan que esta falta de conciencia dificulta el apoyo necesario para la conservación de la vida silvestre y la protección de áreas naturales, debido a que casi todos los tomadores de decisiones y los profesionistas provienen del sector urbano, y por tanto, suelen ser insensibles y desconocer los procesos biológicos que ocurren en la naturaleza.

2.3 Parque Urbano Paseo de la Presa de San José (PUPP)

Un parque urbano se puede considerar como un espacio verde dentro de la ciudad, el cual beneficia la calidad de vida, con servicios ambientales, educativos y recreativos. Sin embargo, el crecimiento de las ciudades ha traído consigo una serie de problemas ambientales y sociales. Algunos de estos problemas que perjudican directamente a los parques urbanos son: a) su excesiva utilización por los habitantes de la ciudad; b) inadecuadas condiciones de mantenimiento de los árboles; c) incorrecta selección de las especies vegetales; d) falta de viveros especializados en la propagación de especies propias de la región; e) las escasas repoblaciones se realizan con cantidades relativamente pequeñas de especies nativas y limitada diversidad genética; y f) mínima participación de los habitantes en la plantación y cuidado de los árboles.

El PUPP (Figura 1), por su relativa cercanía a la ciudad, el paisaje arquitectónico de la presa y el contraste de la vegetación presente, es considerado como un área de recreo. Cuenta con una superficie de 344-02-03 ha, su altitud varía de 1,900 a 2,020 msnm y se encuentra en las inmediaciones de la presa San José. El parque se ubica entre las

coordenadas geográficas $22^{\circ} 07' 40''$ y $22^{\circ} 09' 15''$ latitud norte y $101^{\circ} 02' 00''$ y $101^{\circ} 03' 35''$ longitud oeste (Anónimo, 1996).

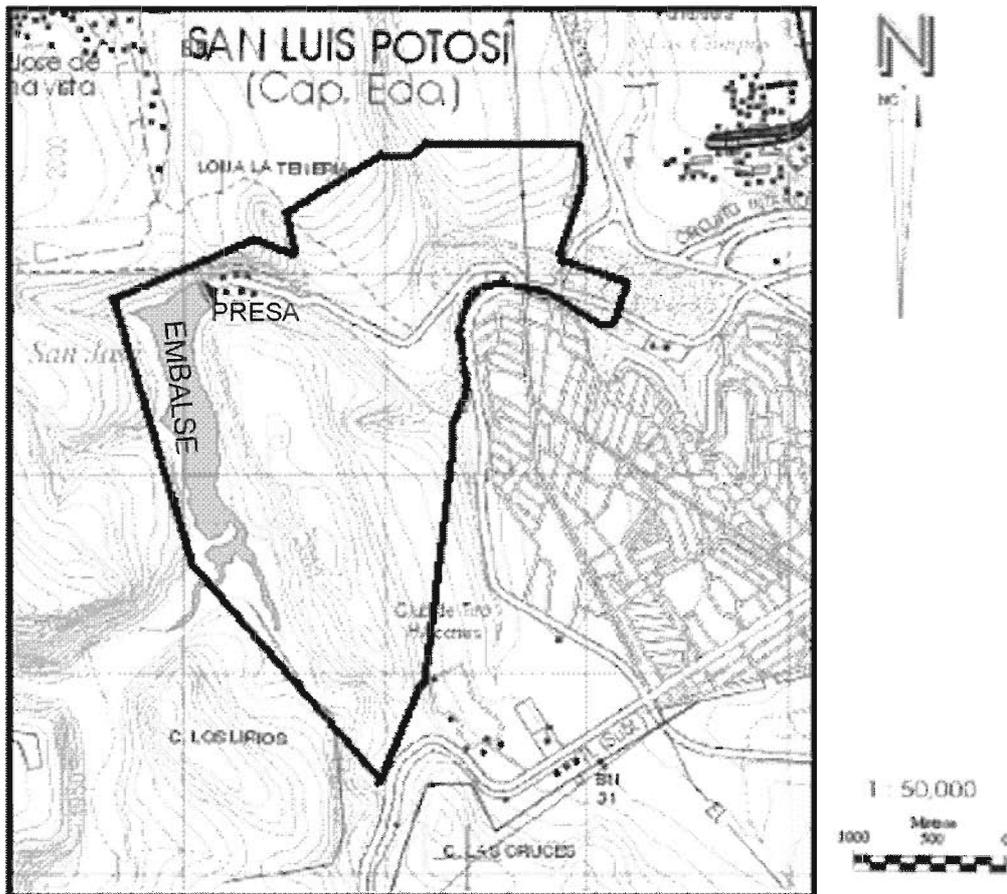


Fig. 1. Localización y delimitación del Parque Urbano Paseo de la Presa San José.

El PUPP se localiza al poniente de la ciudad de San Luis Potosí. Forma parte de la sierra de San Miguelito, entre los cerros de “Las Cruces”, “Los Lirios” y “Loma la Tenería”; hacia su interior se encuentra la parte principal del vaso de la presa San José, la cortina, y la continuación del río Santiago. El acceso se logra recorriendo la carretera tradicionalmente denominada “Camino a la Presa San José”, o bien por la prolongación del

anillo periférico ubicado a 250 metros del acceso antes descrito, hasta el cruce con éste dentro de la zona de protección.

Calderón (1957) señala que dentro de las vías fluviales al oeste del valle de San Luis Potosí se localiza el río Santiago, el cual nace en la Sierra de San Miguelito, y abastece primeramente a la presa Gonzalo N. Santos y más abajo la de San José.

2.3.1 Antecedentes históricos

En 1863 el gobierno estatal dispuso por primera vez la construcción de la presa La Constancia, posteriormente llamada de San José. La propuesta de construir la presa La Constancia en ese tiempo, no pudo concretarse por factores económicos, sociales y por las condiciones de inestabilidad política en la región. En abril de 1869, el gobernador sustituto Carlos Tovar emitió el primer decreto de concesión de agua, relacionado con la construcción de una presa en la cañada de San José, propiedad de la hacienda de La Tenería. A fines de febrero de 1894 el gobierno estatal pretendió realizar la construcción de la presa Morales, la cual primeramente fue llamada La Constancia por la perseverancia que hubo a lo largo del siglo para construirla, pero posteriormente se llamó de Morales por estar cercano el punto de construcción al rancho de Morales, y terminó por llamarse de San José. La conclusión de la presa de San José fue hasta agosto de 1903; el 3 de septiembre del mismo año el vaso de la presa se llenó a su máximo, esto es 7, 526,000 m³ (Camacho, 2001). En 1974 fue el último año cuando la presa constituyó la única fuente de la red de abastecimiento de agua para la ciudad de San Luis Potosí, por el crecimiento de la demanda y la colmatación del embalse. Es importante resaltar que la presa de San José es considerada como una de las obras hidráulicas más avanzadas del siglo XIX.

El deterioro severo de la vegetación de las áreas aledañas a la presa y del camino hacia ella, se debe en parte a la necesidad cotidiana de ir hasta allá para abastecerse de agua en esa época (1863-1903), la cercanía a la ciudad, el sobrepastoreo, la tala, la cacería, la extracción de materiales y al depósito desordenado de escombros y basura.

Las diversas campañas de reforestación que se han realizado a través de los años en el área del PUPP, sólo han contribuido en algo a la destrucción de la vegetación natural en esta zona, ya que aunque bien intencionadas, se han realizado con especies arbóreas

introducidas de rápido crecimiento, tales como *Eucalyptus* spp., *Casuarina* sp., *Cupressus* sp., *Schinus terebenthifolius* y *Fraxinus uhdei*, las cuales son impropias de las comunidades naturales del parque y sus áreas colindantes, han tenido muy poco éxito y han causado cierta perturbación en el suelo y la vegetación durante las maniobras de plantación.

2.3.2 Declaratoria oficial

Con el avance reciente del crecimiento urbano hacia el occidente de la ciudad comenzaron las apropiaciones o reclamaciones de terrenos cercanos a la presa, por lo que en 1996 el Gobierno Estatal declaró a las tierras que comprenden la presa y el camino que conduce hacia ella como Área Natural Protegida en la modalidad de “Parque Urbano”. En 1998 se aprobó el proyecto de desarrollo “Paseo de la Presa”, presentado por el Patronato Pro-Regeneración del Camino a la Presa de San José ante autoridades municipales y estatales, con lo cual se iniciaron los primeros trabajos de limpieza y ordenamiento de los espacios y accesos. Finalmente, el 7 de julio de 2000 se inauguraron los trabajos formales para la construcción de espacios recreacionales, viveros, cerca perimetral y la reconstrucción de una casona en ruinas, la cual fue destinada para la administración del parque.

2.4 Restauración ecológica

MacKinnon *et al.* (1990) menciona que existen muchas áreas donde la vegetación original ha sido destruida por medios naturales o artificiales, y donde es deseable restaurarlas para lograr condiciones tan parecidas a las originales como sea posible.

En general la restauración ecológica tiene como objetivo final reconstruir un ecosistema que ha sufrido perturbación importante, generalmente derivada de actividades humanas. La reconstrucción de ecosistemas degradados involucra sus atributos de estructura, composición, función y persistencia. El término de restauración se ha dado a todo aquel proceso ecológico cuya finalidad es recuperar las condiciones ambientales que prevalecieron en un sitio dado, y que por alguna causa se vieron afectados negativamente. Las primeras acciones de restauración ecológica registradas en la literatura, fueron

realizadas en praderas en Wisconsin (25 hectáreas) por Aldo Leopold en 1935, quien es reconocido como uno de los precursores en la materia (Sol *et al.*, 2002).

En el Protocolo Distrital de Restauración Ecológica-DAMA (Anónimo, 2002) se señala que la restauración ecológica es la ciencia y tecnología para la recuperación natural de los ecosistemas, la cual procura recobrar cualquiera de sus atributos, desde un servicio ambiental, hasta la recomposición de ecosistemas primarios, réplicas de los existentes previamente a su destrucción. Así mismo, establece que se trata del restablecimiento artificial, total o parcial de la estructura y función de ecosistemas deteriorados por causas naturales o por acciones humanas.

En efecto, Windhager (1999) explica que la restauración ecológica es el estudio y la práctica de la recreación de ecosistemas funcionales y, cuando es posible, de la reintroducción de especies históricamente asociadas con tales ecosistemas. Este autor señala que una de las prácticas primarias es el restablecimiento de poblaciones localmente extintas. Por su parte, Berger (1990, citado por Benítez *et al.*, 2004) define a la restauración ecológica como un conjunto de prácticas realizadas en ambientes degradados, encaminadas a favorecer su retorno, lo más fielmente posible, a la condición del ecosistema previo a las alteraciones.

Sin embargo, la restauración es un proceso complejo. Así, Vázquez y Batís (1996) señalan que la restauración es intentar detener el proceso de deterioro del suelo por medio del establecimiento de una nueva cobertura vegetal y, si es necesario, por medio de la realización de obras de ingeniería ambiental. Estos autores determinan que en la mayoría de los casos será imposible lograr restaurar un medio ambiente similar al original, ya que la existencia de un suelo fértil, un régimen hídrico regular y una biota diversa son el resultado de milenios de interacción de los seres vivos que pueblan un lugar con su medio físico. Esto es importante tomarlo en cuenta, pues en ocasiones la restauración tiende a ser simplificada. Por ejemplo, Sauer (1998, referido por Benítez *et al.*, 2004) señala que actualmente la restauración ecológica que se practica tiene alcances similares a los programas tradicionales de reforestación, es decir, se limita a la introducción de especies, sin dar seguimiento al establecimiento y supervivencia. Y Vallejo *et al.* (2003) mencionan

que la técnica de restauración consiste sólo en introducir algún componente clave y dejar después que la naturaleza siga su curso.

En el Protocolo Distrital de Restauración Ecológica-DAMA (Anónimo, 2002) y Bradshaw (1983) se mencionan los siguientes conceptos, los cuales pueden causar confusión:

- a) Rehabilitación (rehabilitation): es el restablecimiento de los procesos ecológicos esenciales que permiten que el ecosistema funcione y persista por su cuenta.
- b) Recuperación (reclamation): es el intervalo de la restauración que va de ecosistemas degradados a ecosistemas productivos de bienes o servicios ambientales, y sus métodos y alcances dependen del objetivo económico.
- c) Restauración (restoration): abarca todo el espectro y cualquier segmento del proceso inverso a la alteración; es una actividad humana en apoyo al restablecimiento de los atributos estructurales y funcionales del ecosistema.

Pedraza (2003) destaca que algunos autores han definido tres modalidades de intervención humana para recuperar o restaurar las condiciones de los sistemas forestales naturales que han sido degradados; dichas modalidades son las siguientes:

- a) Restauración: se aplica cuando se pretende recuperar las condiciones exactas que se presumen fueron el estado original del bosque; así, el nuevo bosque deberá contener las mismas especies y la estructura que tenía al inicio.
- b) Rehabilitación: se refiere al retorno funcional que tenía el bosque antes de ser dañado o degradado, independientemente de la estructura y composición original, por lo que pueden utilizarse especies originales u otras exóticas.
- c) Remediación (sic): se aplica en los casos de extrema degradación como son los suelos contaminados por las actividades mineras o el uso de maquinaria pesada, en donde generalmente pocas especies pueden establecerse debido a las limitaciones del sitio, excepto por algunas especies exóticas conocidas. (Un término más apropiado para estos procesos podría ser el de saneamiento).

Schreckenber *et al.*, citado en el Protocolo Distrital de Restauración Ecológica-DAMA (Anónimo, 2002), definen la restauración como una técnica participativa empleada para devolver áreas degradadas a su condición original, y distinguen dos tipos de

restauración, la pasiva y la activa: a) La restauración pasiva es la que logra el ecosistema por sí mismo, cuando se suprimen los factores generadores de la degradación. b) La restauración activa es el restablecimiento artificial de la cubierta vegetal en la que se emplean diversos biotipos desde herbáceos, arbustivos y arbóreos.

En particular se puede señalar que restaurar no es reforestar; la reforestación implica generalmente la plantación de una a cinco especies arbóreas, pero generalmente se trata de especies propias de otras regiones biogeográficas muy distintas y distantes, por lo que se compromete su repoblación natural, la de otras especies con igual o diferente forma vital (arbustos y herbáceas), así como la generación de las condiciones requeridas por la fauna para su restablecimiento.

2.5 Importancia y beneficios de la restauración ecológica

Restaurar la cubierta vegetal de nuestro planeta se ha convertido en una necesidad inaplazable, que debe estar sustentada en un conocimiento adecuado de la flora nativa de las diversas regiones y de la biología reproductiva de las plantas (Vázquez *et al.*, 1997).

En la restauración ecológica es importante la reintroducción de especies nativas que se habían desarrollado naturalmente en esa zona, y aun cuando no se logre restituir exactamente el tipo de vegetación que existía en el sitio alterado, es indispensable la utilización de dichas especies, ya que presentan mayores posibilidades conocidas de adaptación que las especies introducidas. Si la repoblación natural es imposible, porque la zona a restaurar esté muy deteriorada, se puede recurrir a la repoblación artificial, a partir de plántones generados en viveros. En la actualidad, desafortunadamente, aun los viveros oficiales le dan mayor importancia a la producción de especies introducidas, debido a la mayor facilidad en la obtención de semilla comercial y en la multiplicación de estas especies.

La ausencia de oferta en viveros comerciales y oficiales y la falta de información para lograr la multiplicación y producción de plántones de especies nativas, se puede relacionar con el desconocimiento también de los beneficios que las especies nativas pueden generar en los ecosistemas y para la población. Sin embargo, Windhager (1999)

señala que algunas poblaciones reintroducidas pueden sobrevivir, pero no desarrollan la capacidad para reproducirse en su “nuevo” ambiente.

La restauración de la vegetación requiere un análisis previo de las características de la zona de actuación y de su entorno. La localización geográfica y las características del paisaje, la topografía del terreno, los materiales que configuran el paisaje, el estado actual de la cubierta vegetal existente y el resto de los factores ambientales, influye en forma decisiva en el diseño de la repoblación, en la selección de especies que han de utilizarse y en el éxito de la restauración (Seoánes, 1998).

De Zavala *et al.* (2004) establece que la restauración en zonas con muy escasa cobertura arbórea, sólo es posible mediante la repoblación artificial (plantación), al no existir una fuente natural de semillas. Así mismo, De Zavala *et al.* (2004) mencionan que la restauración se debe centrar principalmente en conseguir la recuperación y conservación progresiva de la cubierta vegetal y del suelo; por ello, no puede ser condicionada a la obtención de materiales (construcción, leña, forraje, alimentos, medicina u otros) o servicios a corto plazo.

Actualmente los estudios sobre restauración de ecosistemas son escasos; la mayoría sólo están enfocados a estudios de procesos muy concretos de conservación de una o varias especies de interés. Por otro lado, en muchos países la finalidad de los programas de restauración y reforestación ha sido apoyar el empleo, más que realmente recuperar zonas degradadas. Sin embargo, esto ha ido cambiando y con más frecuencia encontramos programas de reforestación cuyo objetivo es plantar especies nativas en las áreas que se desea restaurar, con la participación de los habitantes locales (Anónimo, 2001).

Para evaluar un ecosistema degradado y diseñar un programa de restauración ecológica se deben establecer los siguientes lineamientos:

- Identificación de las causas y procesos de la degradación del ecosistema
- Diagnóstico del ecosistema degradado
- Propuesta de restauración ecológica
- Definición de los objetivos
- Desarrollo de un modelo de restauración
- Desarrollo de una metodología de restauración

- Evaluación de resultados

Sol *et al.* (2002) Señalan que un modelo de restauración ecológica de áreas alteradas deberá considerar los siguientes componentes:

1. Identificación del área a restaurar
2. Definición de la estrategia de restauración
3. Establecimiento de parcelas de restauración
4. Mantenimiento y evaluación periódica de las parcelas de restauración
5. Datos de campo e indicadores de restauración

Además, de acuerdo con Ewel (1990, citado por Martínez, 1996), en una técnica de restauración ecológica debemos tomar en cuenta los siguientes aspectos fundamentales:

- a) Autosostenibilidad. Se refiere a que el ecosistema por restaurar sea capaz, en un momento dado, de autoperpetuarse, incluso sin la ayuda humana. El conocimiento de los procesos de germinación, establecimiento y disturbio de las plantas en fases tempranas de la restauración son fundamentales para lograr este propósito, ya que así se podrán entender los requerimientos de repoblación natural de las especies.
- b) Invasión. Implica reconocer las especies que invaden comunidades perturbadas, ya que éstas podrían ser altamente competitivas y desplazar especies clave dentro del proceso de sucesión natural. En general, las comunidades naturales perturbadas son más susceptibles a la invasión de especies.
- c) Productividad. Depende del uso eficaz de los recursos del medio físico por la comunidad; una comunidad restaurada debe ser tan productiva como la original.
- d) Retención de nutrientes. Las comunidades son sistemas abiertos en los ciclos de nutrientes; una comunidad restaurada debe perder la menor cantidad posible de nutrientes.
- e) Interacciones bióticas. El ensamblaje de los organismos en una comunidad, es un aspecto fundamental al que debe enfocarse una restauración ecológica.

El conocimiento de las especies clave es fundamental para alcanzar este objetivo.

Seoánes (1998) señala que una restauración tendrá éxito mayor cuanto más adaptadas estén las especies al medio donde las queremos implantar; así mismo, este autor señala que las especies elegidas tienen que reunir una serie de características que permitan la consecución final de los objetivos que se pretendan en la restauración. Así, Vázquez y Batis (1996) señalan que las plantas valiosas para la restauración ecológica que pueden mejorar con el tiempo la calidad de los suelos degradados, deberán tener las siguientes cualidades:

- Ser de fácil propagación.
- Resistir condiciones limitantes, como baja fertilidad, sequía, suelos compactados, con pH alto o bajo, salinidad, etc.
- Tener rápido crecimiento y buena producción de materia orgánica como hojarasca.
- Tener alguna utilidad adicional a su efecto restaurador; por ejemplo, producir leña, buen carbón, forraje nutritivo, vainas comestibles, madera, néctar, etc.
- Tendencia nula a adquirir un hábito parantropico invasor.
- Presencia de nódulos fijadores de nitrógeno o micorrizas que compensen el bajo nivel de nitrógeno, fósforo y otros nutrientes en el suelo.
- Tendencia clara a favorecer el restablecimiento de las poblaciones de elementos de la flora y la fauna nativas proporcionándoles hábitat y alimento.

2.6 La restauración ecológica en México

En nuestro país, este tema es reciente y por tanto, la información científica y tecnológica sobre este tema es limitada. Por otra parte, el uso de diversos términos relativos al tema es inconsistente y se desconoce el verdadero significado de los mismos (Anónimo, 2004-2005).

En la problemática de la restauración ecológica en México se señala (Anónimo, 2004-2005) la existencia de una confusión generalizada en cuanto a la naturaleza de la restauración ecológica, lo que ocasiona que en muchas ocasiones se mezcle restauración con reforestación; así mismo se reconoce que se carece de criterios para la selección y

jerarquización de especies útiles con las cuales se deban iniciar procesos de restauración ecológica, además de que se cuenta con poco conocimiento acerca de la riqueza genética disponible.

En relación con la selección de especies, recolección y manejo de germoplasma se han señalado (Anónimo, 2004-2005) los siguientes problemas:

- Existe poca investigación y pobremente difundida.
- Se tiene un profundo desconocimiento autoecológico y sinecológico de un gran número de especies nativas.
- Prevalece un gran desconocimiento de las especies nativas de las diferentes zonas de nuestro país.
- Falta implementar programas que incrementen el uso de estas especies de acuerdo con esquemas de mejoramiento.
- La recolecta es llevada a cabo por personal sin la preparación mínima sobre temas como recolección y manejo de semillas forestales.
- Las especies culturalmente relegadas a los traspatios, no han trascendido y solamente representan relevancia en nivel local sin que hayan sido incorporadas a programas regionales.
- Además del conocimiento tradicional que sobre estas especies nativas cultivadas se tiene, no se cuenta con estudios suficientes sobre su biología y manejo.
- Se desconoce la tecnología de manejo de frutos y semillas para la mayoría de las especies conocidas.
- Existen vacíos de información en aspectos relacionados con la caracterización de frutos y semillas, sobre tratamientos pregerminativos o patrones de germinación.
- Se desconocen aspectos básicos sobre la biología de deshidratación-viabilidad y caracterización de las semillas bajo condiciones de almacenamiento.
- Persiste el desconocimiento de aspectos fisiológicos de las especies.
- No se cuenta con los procesos de recolecta y almacenamiento necesarios para muchas de las especies nativas, ni se conocen sus tratamientos pregerminativos.

- Para muchas especies, se desconocen los procesos biológicos y de reproducción, especialmente en el caso de las especies forestales.

Además, para la producción de planta y establecimiento de plantaciones, oficialmente (Anónimo, 2004-2005) se reconocen los siguientes problemas en el país:

- El germoplasma utilizado para la producción de planta en vivero, normalmente presenta baja diversidad genética.
- Se carece de estrategias de reforestación y las técnicas adecuadas para ello no se aplican.
- Falta de manejo adecuado de las especies en el vivero; es decir, a todas se les da el mismo manejo.
- El uso de especies inadecuadas al sitio de plantación es una práctica frecuente.
- Normalmente se utilizan especies exóticas.
- Las prácticas para establecer una plantación forestal, normalmente minimizan la importancia de la preparación del sitio.
- No se cuenta con técnicas de producción en vivero para especies nativas.
- No se tiene un control de calidad de la planta destinada a plantación.

2.7 Utilización de especies nativas

Una población vegetal nativa es aquella cuya presencia dentro del territorio es previa a la conquista europea, y que, gracias a ello, cuenta con una adaptación a las condiciones ecológicas locales que le permite sostener sus funciones de persistencia, crecimiento, reproducción y variabilidad con los ciclos de materia y flujos de energía locales, sin subsidio humano directo (Anónimo, 2002).

Existen especies nativas locales, nativas regionales, nativas nacionales y especies exóticas; en la restauración ecológica debe darse prioridad a la selección de especies en ese mismo orden (Anónimo, 2002). La utilización de especies propias de la región objeto de restauración es una garantía de adaptación de las plantas y una medida de conservación de los genotipos. En cualquier caso, en la restauración de terrenos degradados parece razonable empezar ensayando con plantas nativas antes de considerar las exóticas, dado el

amplio campo que queda por explorar sobre las posibilidades de la flora autóctona, tanto desde el punto de vista científico como técnico (Vallejo *et al.*, 2003).

Vázquez *et al.* (1997) señala que para hacer un uso exitoso de las especies nativas de cada región en programas de desarrollo de sistemas agrosilvopastoriles, restauración ecológica y reforestaciones es indispensable profundizar nuestro conocimiento sobre la biología, la ecología, la propagación y el manejo de las especies disponibles, a fin de posibilitar el cultivo de dichas especies y desarrollar técnicas eficientes de propagación. Este autor menciona que es importante tomar en consideración la utilidad de las especies para la población local, ya que ello redundará en una mejor conservación de las zonas restauradas. Sin embargo, para el uso de especies nativas se requiere conocer y resolver los problemas de su propagación y establecimiento, y dichos problemas varían de especie a especie, y generalmente se carece de información al respecto.

Otro obstáculo para llevar a la práctica programas de reforestación y restauración ecológica, es el bajo número de plántulas disponibles y de escasa diversidad de especies nativas en los viveros comerciales y oficiales. Sin embargo, las especies nativas presentes en los viveros, constituyen una oportunidad para explorar este camino, pero falta mucho para conocer su potencial en programas de restauración, ya que se tienen pocas experiencias al respecto.

La restauración con especies nativas se justifica, a pesar de que inicialmente pueda resultar muy costosa, pues a largo plazo se tornará más económica al garantizar su persistencia (Benítez *et al.*, 2004). Sin embargo, Arriaga *et al.* (1994) señalan que en ocasiones resulta difícil convencer a los agricultores y campesinos de reforestar o restaurar con este tipo de especies, ya que las menosprecian y las consideran “corrientes”, a pesar de los beneficios cotidianos que de ellas reciben; en muchos casos se tiene el prejuicio de que en la reforestación o restauración se deben introducir plantas que no existan en esos ambientes, o de las cuales se pueda obtener un beneficio económico rápido y directo, sin considerar que las condiciones que generalmente presenta el suelo de los terrenos a reforestar, no permiten introducir las plantas deseadas.

Así, se puede establecer que las especies utilizadas en la restauración deberán ser aquellas que: a) forman parte de la vegetación bien conservada en hábitats físicos (clima,

sustrato, suelo y relieve) similares; b) son especies biológicamente importantes en sus comunidades respectivas, por su abundancia, corpulencia, longevidad o relaciones benéficas con otros organismos; y c) que por su utilidad diversa (construcción, leña, forraje, alimento y otras) es importante difundirlas.

2.8 Utilización de especies exóticas o introducidas

Respecto a las especies introducidas o exóticas, Vázquez y Batís (1996) destacan las siguientes razones que explican se sigan usando en restauración: a) facilidad de propagación; b) disponibilidad de semilla; y c) garantía de sobrevivencia y crecimiento en muchos suelos deteriorados. Para dichos autores, este razonamiento es una respuesta simple que se justifica por la carencia de conocimientos científicos y técnicos sobre el uso y manejo de las especies nativas capaces de ser utilizadas con igual o mayor ventaja para los mismos propósitos. Por lo tanto, se trata de un problema de carencia de conocimientos sobre la alternativa que podrían ofrecer los componentes de la flora nativa, la cual en México contiene varios cientos de especies de árboles para los diferentes ambientes del país. Intencional o accidentalmente, en México se han introducido multitud de especies exóticas, algunas de las cuales han encontrado magníficas condiciones para establecerse, pero su efecto sobre las especies nativas y la fisonomía de las comunidades naturales ha sido poco estudiada (Vázquez y Orozco, 1996).

Cuando se reforesta o se realiza una restauración ecológica con especies exóticas se tienen resueltos los problemas de cultivo y disponibilidad de propágulos; sin embargo, los resultados obtenidos con estas especies, obligan a replantear la necesidad de propagar especies nativas, para lo cual es necesario realizar un inventario de las especies que presenten las propiedades biológicas y ecológicas más adecuadas para cada clima y condición ambiental de cada país (Vázquez y Batís, 1996).

Las especies exóticas son más utilizadas por la amplia información que de ellas se tiene, su biología es muy conocida, son del dominio público, su disponibilidad es amplia y en gran número en los viveros (Benítez *et al.*, 2004).

Vallejo *et al.* (2003) señalan que con la utilización de especies exóticas en áreas a restaurar, sin un estudio previo de viabilidad, se corre el riesgo de una pobre adaptación al medio o, por el contrario, de que la especie se convierta en invasora.

Cony (1995) menciona los siguientes riesgos con las especies exóticas:

- Transformación en paratrópica o invasora.
- Efectos desconocidos en el ecosistema.
- Pobre adaptabilidad e integración con la fauna.

Existen innumerables ejemplos de especies exóticas que se han vuelto plagas terribles en sus nuevos hábitats, y que con frecuencia compiten y desplazan a especies nativas (MacKinnon *et al.*, 1990). Así, Vázquez y Orozco (1996) destacan que muchos paisajes naturales y alterados están marcados por la presencia de seres vivos que fueron llevados a ese lugar por actos conscientes o inconscientes de transporte humano, y que a veces la presencia de esos nuevos elementos vivos del paisaje ha causado directamente la desaparición de otros que eran nativos y deseables de dichos sitios.

Así, la utilización de especies introducidas en la restauración, solamente podría considerarse una a una cuando, con base en los antecedentes de dicha especie, existan indicios de que sea claramente superior a la especie nativa de la cual sea su equivalente ecológico o funcional.

3. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1. Situación geográfica y topográfica

Este inciso fue preparado gentilmente por el M. C. J. Carmen Rodríguez García, con base en la cartografía y en recorridos de campo. El Parque Urbano Paseo de la Presa está constituido por las estribaciones bajas de la Sierra San Miguelito y comprende la “Loma Cargadores” y “Loma la Tenería”. Los puntos más altos son “Cerro los Lirios” (2050 msnm) y “Cerro las Cruces” (2030 msnm). Se ubica en la Región Hidrológica Núm. 26. Su condición fisiográfica le imprime carácter hidrogeomorfológico montuoso, con afloramientos rocosos y régimen torrencial. La parte oriental posee lomeríos y pie de monte con escasos afloramientos y arroyos de pendiente moderada.

Las aguas intermitentes superficiales de los arroyos del sur, “Tinaja Prieta”, “San Miguel”, “San Cristóbal” y “Coconoxile”, se conjuntan con el arroyo “El Muerto”, cuyas aguas desembocan al vaso de la presa San José. En la parte sur-oeste, las aguas del arroyo “El Lechuguilla” incrementan el caudal que se conduce al vaso de la presa. Al norte son cinco pequeños arroyuelos que alimentan el caudal del río Santiago. Por el lado este-sureste de la loma “Cargadores” drenan las aguas en un arroyo de sur a norte hasta el río Santiago, contaminado con aguas residuales domésticas, las cuales se confunden con los excedentes de la presa San José en los cauces meandráticos (herradura) del río Santiago.

La cima de la “Loma Cargadores” tiene una topografía suave y ligeramente inclinada. Su parte oriental marginal presenta declives menores que 8 %; en cambio, en su porción occidental y centro-sur el declive se incrementa hasta el 20 %. La parte sur-este presenta erosión hídrica moderada por toda la extensión del terreno de la meseta al oriente, hasta donde llega el área urbanizada de la ciudad de San Luis Potosí.

Las depresiones están determinadas por las elevaciones del terreno y son el acceso estacional del agua de gravedad hasta el curso fluvial principal que conduce la escorrentía superficial de la sierra de San Miguelito hasta la Presa San José. Las depresiones son sinuosas y bordean las geofomas que determinan el vaso de la Presa San José y la vega del río de Santiago. Estos cauces contienen arcillas, arenas, gravas y cantos líticos rodados de las laderas.

3.2 Clima

Calderón (1957) menciona que la temperatura media anual para la ciudad de San Luis Potosí es de 17.6 °C; los valores máximos se presentan en los meses de mayo y junio y los mínimos en diciembre. La máxima extrema alcanza valores de 37.3 °C y la mínima extrema de -2.7 °C. Así mismo, señala que el número de días con heladas son 20 por año, pero en las partes altas de las sierras son más frecuentes.

La formula climática para la ciudad de San Luis Potosí (García, 2004) es $BS_o kw (e)gw''$, donde:

BS_o = semiárido o estepario, el más seco de los BS , pues el cociente precipitación/temperatura es menor que 22.9.

k = templado, con verano cálido. Esto significa que la temperatura media anual es de 12 a 18 °C, la del mes más frío entre -3 y 18 °C, y la del mes más cálido sobre 18 °C.

w = lluvias de verano, esto es, al menos 10 veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad cálida del año, que en el mes más seco.

(e) = extremoso, o sea que la oscilación anual de las temperaturas medias mensuales es entre 7 y 14 °C.

g = marcha de la temperatura tipo Ganges, esto es, el mes más cálido se presenta antes del solsticio de verano y de la temporada lluviosa.

w'' = dos máximos de lluvia separados por dos estaciones secas: una larga en la mitad fría del año y una corta en la mitad de la temporada lluviosa.

En el Cuadro 1. Se presenta la localización de las estaciones climatológicas ubicadas en las inmediaciones del área de estudio. En los Cuadros 2 a 5 se presentan los registros de temperatura y precipitación en dichas estaciones, correspondientes a los años 1990 a 2005. La información de las estaciones Los Filtros y El Peaje fue proporcionada por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) del estado de San Luis Potosí.

Cuadro 1. Localización de las estaciones climatológicas.

Estación	Latitud	Longitud	Altitud
Los Filtros	22° 09'	100° 59'	1877 m
El Peaje	22° 05'	101° 07'	2090 m

Cuadro 2. Temperatura promedio mensual (°C) para el periodo 1990 a 2005

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Los Filtros	13.8	15.6	18.2	20.5	22.0	21.2	20.0	19.8	18.9	17.7	16.2	14.2
El Peaje	25.5	27.8	30.6	32.8	33.9	31.8	29.8	29.1	28.4	28.3	28.0	26.2

Cuadro 3. Temperatura máxima extrema mensual (°C) para el periodo 1990 a 2005

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Los Filtros	25.7	27.6	30.3	32.2	33.0	31.4	29.6	28.9	28.4	28.1	27.1	26.0
El Peaje	12.8	14.5	17.1	19.3	21.0	20.2	18.9	18.9	18.0	16.4	15.0	13.3

Cuadro No. 4 Temperatura mínima extrema mensual (°C) para el periodo 1990 a 2005

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Los Filtros	2.0	3.0	4.4	8.3	10.8	11.7	12.6	12.3	10.7	7.8	4.1	1.8
El Peaje	0.3	1.1	2.3	5.1	8.5	10.5	9.4	9.1	8.4	4.5	1.9	0.4

Cuadro No. 5 Precipitación total mensual (mm) para el periodo 1990 a 2005

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Los Filtros	16.6	7.9	7.7	10.8	37.8	56.6	71.7	50.7	64.3	35.5	21.7	5.7
El Peaje	18.5	9.5	12.4	12.2	34.4	61.8	73.1	44.1	71.3	40.6	9.1	6.9

3.3 Suelo

La aparición de un determinado tipo de vegetación está vinculada a diversos factores edáficos: contenido y disponibilidad de nutrientes, H₂O y O₂, textura y estructura, pH, profundidad, etc. (Seoánes, 1998).

Según la clasificación de INEGI, basada en la de la FAO (Anónimo, 1999), en el área de estudio sólo se identifican dos clases de suelo, el litosol éutrico, que abarca las

laderas y cimas del relieve, y el fluvisol éútrico confinado a las superficies drenadas de arroyos y ríos de mayor cauce.

Los litosoles son suelos de menos que 25 cm de espesor, sobre material lítico o tepetate, no aptos para la agricultura, pero sí para el pastoreo; su naturaleza éútrica puede limitarse a las características del grupo litosol o variar de acuerdo con su origen y desarrollo. Estos suelos corresponden a los andisoles, por sus propiedades ándicas heredadas de la ceniza volcánica. Una capa más reciente de la toba depositada por aire, forma parte del horizonte "C" en la cima de la loma Cargadores. Es un suelo ligero de alta capacidad de retención de humedad y nutrimentos. Es muy susceptible a la erosión; por ello es preferible destinarlo a uso forestal. En el suelo degradado y erosionado de la ladera oriental de la loma Cargadores, otra capa de ceniza más compacta aparece como tepetate. Debido a las fracturas del material, se presentan brotes de agua artesiana o manantiales por el agua de gravedad en la época pluvial.

Los fluvisoles son suelos de origen aluvial reciente, los cuales pueden presentar un horizonte pálido y ser desde muy fértiles hasta infértiles; cuando fértiles sus características dependen más de elementos del clima que del material parental y otros factores. La naturaleza éútrica, se refiere a un contenido moderado o alto de nutrimentos. Son suelos equivalentes a los entisoles, con poca evidencia de desarrollo de horizontes; debido a su erosión activa pueden presentar depósitos coluviales o aluviales recientes. Los del suborden fluvents, presentan inundación frecuente con depósitos de suelos más antiguos.

3.4 Vegetación

Seoáñez (1998) señala que el término "vegetación potencial" alude a la vegetación que existiría en una zona de no haber sido modificado el medio por los humanos. La perturbación severa y prolongada en el área de estudio sólo ha dejado algunos indicios específicos muy poco representados de la vegetación potencial, pero actualmente la cubierta vegetal es muy raquítica, poco densa y dominada por especies asociadas a la perturbación y el suelo desnudo y erosionado es el predominante en las lomas y laderas.

En cuanto a las especies vegetales, es importante reconocer su amplitud de distribución y las condiciones ambientales existentes en dicha área de distribución; así,

algunas especies presentan una amplia distribución y, por consecuencia, se asocian a una gran variedad de condiciones ambientales (Arriaga *et al.*, 1994).

Por otra parte, Rzedowski (1968) señala que la estructura de la vegetación está fuertemente afectada por las formas biológicas presentes, y particularmente por las dominantes. Así mismo, este autor destaca que la gran diversidad de las últimas trae como consecuencia contrastes y diferencias fisonómicas notables, tanto entre las diversas zonas áridas como entre localidades a veces cercanas entre sí de la misma región.

Actualmente se carece de un inventario de la vegetación, así como de la información que permita conocer la vegetación original y su condición o estado de conservación actual en el Parque Urbano Paseo de la Presa de San José. Sin embargo, en sus tres tipos de paisaje principales aún se encuentran individuos de las siguientes especies más conspicuas.

Las especies vegetales que presentan mayor abundancia visual en la geoforma loma son las siguientes:

Arbóreas: *Prosopis laevigata**, *Schinus molli** y *Yucca filifera*.

Arbustivas: *Agave lechuguilla*, *Agave salmiana**, *Bursera fagaroides**, *Dasilyrion acrotriche*, *Dalea bicolor*, *Dodonaea viscosa** y *Iresine* sp.

Herbáceas: *Aristida* spp.*, *Bouteloua curtipendula*, *Bouteloua gracilis*, *Euphorbia antisyphilitica**, *Turnera diffusa*, *Verbesina virgata* y *Zinnia angustifolia*,

Las especies vegetales con mayor abundancia visual en la geoforma ladera son las siguientes:

Arbóreas: *Acacia schaffneri**, *Cupressus sempervirens* (introducido), *Prosopis laevigata**, *Schinus molli** y *Yucca filifera*.

Arbustivas: *Agave salmiana**, *Brickellia veronicifolia**, *Bursera fagaroides*, *Calliandra eriophylla**, *Condalia mexicana*, *Dalea bicolor**, *Dodonaea viscosa**, *Eysenhardtia* sp., *Iresine* sp., *Haplopappus venetus**, *Mimosa biuncifera**, *Opuntia* spp. y *Parthenium argentatum**.

Herbáceas: *Bothriochloa barbinodis*, *Bouteloua curtipendula*, *Bouteloua gracilis**, *Euphorbia antisyphilitica**, *Sporobolus airoides*, *Turnera diffusa*, *Verbesina virgata* y *Zinnia angustifolia*,

Las especies vegetales que presentan mayor abundancia visual en la geoforma cañada son las siguientes:

Arbóreas: *Acacia schaffneri**, *Cupressus sempervirens* (introducido), *Prosopis laevigata**, *Schinus molli** y *Salix barbinoides**.

Arbustivas: *Brickelia veronicifolia**, *Condalia mexicana*, *Dodonaea viscosa*, *Dalea bicolor* y *Mimosa biuncifera**.

Herbáceas: *Bothriochloa barbinodis*, *Bouteloua gracilis**, *Bouteloua repens* *, *Buchloë dactyloides**, *Setaria macrostachya**, *Sporobolus airoides** y *Typha dominguensis*.

* Estas especies probablemente presenten la mayor abundancia relativa en su estrato respectivo.

3.5 Fauna

Se carece de un inventario de la fauna existente en el área del Parque Urbano Paseo de la Presa San José, con el cual se pueda indicar el tipo de fauna presente o que pudo haber existido. En los recorridos de campo se observaron excrementos de liebre frecuentemente. Así mismo se observó la siguiente fauna: ardilla gris, caballos, halcón de cola roja, lagartijas (escamosas y de líneas), lechuza, liebre, palomas de alas blancas y jaurías de perros callejeros (aproximadamente de ocho a diez animales).

Martínez de la Vega (1995) comenta que de acuerdo con su distribución en el altiplano potosino, algunas de las especies que habitaron y que posiblemente aún habiten el área son:

Mamíferos:

Ardilla (*Spermophilus variegatus*)

Conejo (*Sylvilagus floridanus*)

Coyote (*Canis latrans*)

Liebre (*Lepus californicus*)

Ratones de campo (*Peromyscus* spp.)

Tlacuache (*Didelphis virginianus*)

Aves:

Aura (*Cathartes aura*)
 Cardenal rojo (*Cardinalis cardinalis*)
 Codorniz (*Callipepla squamata*)
 Cuervo (*Corvus corax*)
 Halcón de cola roja (*Buteo jamaicensis*)
 Halcón de pradera (*Falco sparverius*)
 Lechuza (*Tyto alba*)
 Palomas de alas blancas (*Zenaida asiatica*)
 Tordo (*Molothrus ater*)

Reptiles:

Lagartija escamosas (*Sceloporus spp.*)
 Lagartija de líneas (*Cnemidophonis spp.*)
 Víbora de cascabel (*Crotalus sp.*)

3.6 Uso actual del suelo

De acuerdo con las características de su origen y exposición superficial pedregosa, el suelo del área del Parque Urbano Paseo de la Presa San José sólo puede ser utilizado en algunas áreas para actividades forestales, pastoriles o recreativas.

Actualmente el Parque Urbano Paseo de la Presa San José tiene una función recreacional dominante, pues es utilizado como área de paseo familiar en días festivos o fines de semana. En estas ocasiones se pueden registrar hasta aproximadamente 1500 visitantes (comunicación del Sr. Agustín Villegas, vocal del Patronato Pro-Regeneración del Camino a la Presa de San José). Otro tipo de servicio sobre todo potencial, sería: a) zona de captación de escorrentías; b) zona de recarga de los mantos freáticos; c) zona para ecoturismo.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

El conocimiento de la distribución de las especies y comunidades vegetales ha demostrado ser en muchos casos de gran utilidad, pues cada una de las especies requiere condiciones determinadas y diferentes del medio para realizar su crecimiento y su reproducción (Rzedowski, 1960). En particular para el área de estudio, Calderón (1957) señala que el carácter sobresaliente del hábitat del valle de San Luis Potosí reside en la aridez, la cual se comprueba observando que la vegetación en general corresponde al tipo xerofítico. Así mismo, indica que se pueden encontrar plantas mesófilas en las elevaciones, cubriendo relativamente poco espacio; que en lugares encañonados suele verse una vegetación hidrófila de continuo verdor y relativa exuberancia; y que la interacción de diferentes factores del hábitat determina la presencia de una estructura y de formas de vida características en la vegetación, lo cual permite la distinción de grupos fisonómicos.

4.1 Parcelas experimentales

MacKinnon *et al.* (1990) señalan que lo más fiable para comprobar si el procedimiento de plantación artificial es el adecuado, es la utilización de lotes experimentales en pequeña escala antes de aplicarlo al área total. En este trabajo se establecieron 12 parcelas experimentales para obtener la información necesaria de las especies que se podrán establecer en el área de estudio. Las características generales de estas parcelas experimentales fueron las siguientes:

- a) Distribución. En cada geoforma reconocida se establecieron cuatro parcelas experimentales; se procuró que su distribución, fuera lo más uniforme posible en el área de la geoforma correspondiente.
- b) Tamaño. La superficie de cada parcela experimental fue de 0.25 ha.
- c) Forma. Cuadrangular, de 50 m por 50 m, cercadas con cinco líneas de alambre de púas, con una separación de 30 cm entre líneas, sujetas a postes metálicos enterrados cada 4 m entre sí; las esquinas de las parcelas se reforzaron con postes de hierro adicionales.
- d) Subdivisiones. Cada parcela experimental se dividió en 25 subparcelas de 10 x 10 m, para lo cual se colocaron en cada esquina de las subparcelas varillas de hierro de

un diámetro de 3/8 de pulgada, pintadas de color azul y amarillo; la subdivisión facilitó la distribución de las especies y plantones conforme al modelo de restauración, así como su localización posterior.

- e) Evaluación. Se evaluó la sobrevivencia de cada plantón.
- f) Identificación de plantones. De acuerdo con el modelo de restauración establecido se registró la identidad y localización de cada árbol, arbusto y herbácea por parcela experimental.

4.1.1 Parcelas experimentales en lomas con suelos y niveles intermedios de humedad edáfica

Las parcelas experimentales de la geoforma lomas, se distribuyeron sobre la Loma Cargadores, donde existe una homogeneidad litológica por la ignimbrita “Bolas”, pero con diferente alteración por erosión geológica y humana, la cual marca las diferencias edáficas y topográficas superficiales.

a) Parcela experimental número 1. Presenta inclinación hacia el oriente con declive del 6 % y conforme la superficie se hace abrupta, los bloques grandes de piedra de ignimbrita son más frecuentes. Las partes llanas presentan, en profundidad variable, una capa de rocas con aristas angulares a subredondeadas. Después de esta capa de rocas, sigue un horizonte de suelo de espesor variable con guijarros, y a continuación la capa de ceniza volcánica u horizonte “C” edáfico. Su altitud es de 2020 msnm

Las especies predominantes en esta parcela experimental y áreas contiguas son las siguientes:

Arbóreas: *Yucca filifera*.

Arbustivas: *Agave salmiana*, *Bursera fagaroides*, *Dalea bicolor*, *Dodonaea viscosa* y *Dasylirion acrotiche*.

Herbáceas: *Bouteloua curtipendula*, *Sellaginella* sp. y *Turnera diffusa*

b) Parcela experimental número 2. Presenta condiciones superficiales semejantes a la parcela experimental 1, pero con menor declive (5 %) y pedregosidad, así como mayor profundidad del suelo. En la época de lluvia, es más evidente el proceso de erosión laminar

descendente y lateral, a través de pequeñas terrazas alargadas y casi paralelas a la pendiente. Se encuentra también a 2020 msnm.

Las especies predominantes en esta parcela y sus áreas contiguas son:

Arbóreas: *Yucca filifera*.

Arbustivas: *Agave salmiana*, *Bursera fagaroides*, *Dalea bicolor*, *Dasilyrion acrotiche* y *Dodonaea viscosa*.

Herbáceas: *Bouteloua curtipendula* sp., *Sellaginella* sp. y *Turnera diffusa*.

c) Parcela experimental número 3. Presenta una superficie más uniforme en cuanto a declive, pero más áspera por la presencia de bloques de piedra de mayor dimensión; muchas de estas rocas están soterradas y sólo sobresalen parcialmente del suelo, y algunas de ellas presentan una banda oscura por la melanización durante el proceso pedogénico del horizonte del suelo erosionado. Su altitud es de 2015 msnm.

Las especies predominantes en esta parcela experimental y sus alrededores son:

Arbóreas: *Yucca filifera*.

Arbustivas: *Agave lechuguilla*, *Agave salmiana*, *Bursera fagaroides*, *Dalea bicolor*, *Dodonaea viscosa* y *Dasilyrion acrotiche*.

Herbáceas: *Bouteloua curtipendula* y *Turnera difusa*.

d) Parcela experimental número 4. Consta de una superficie inclinada con ligera exposición al este, poco áspera y con un declive de 6 %. La secuencia de las capas en el perfil del suelo de la geoforma es variable, de acuerdo con su ubicación en la topografía y grado de alteración, debido probablemente a los procesos erosivos naturales, así como los inducidos por las actividades humanas. Su altitud es de 2015 msnm.

Las especies predominantes en la parcela experimental y áreas contiguas son las siguientes:

Arbóreas: *Yucca filifera*.

Arbustivas: *Agave salmiana*, *Bursera fagaroides*, *Dasilyrion acrotiche*, *Dalea bicolor* y *Dodonaea viscosa*.

Herbáceas: *Bouteloua curtipendula*, *Sellaginella* sp. y *Turnera diffusa*.

4.1.2 Parcelas experimentales en laderas pedregosas, con suelos someros erosionados

Las parcelas experimentales de esta geoforma, por su composición litológica, declive y orientación, presentan peculiaridades en su cobertura vegetal, pedregosidad y grado de alteración en su proceso edáfico.

a) Parcela experimental número 1. Debido a su disposición en la ladera, el suelo presenta una profundidad decreciente con la inclinación desde 0.20 a 0.30 m de espesor, con obstrucciones pedregosas superficiales desde 0.05 a 0.15 m. La combinación del declive con la pedregosidad hace que la erosión existente sea de tipo laminar, en riachuelos durante las precipitaciones. La vegetación y pedregosidad suman una cobertura superficial de 80 %. Las capas del suelo se encuentran poco definidas por la interferencia pedregosa y por la alteración causada por las actividades humanas. Se encuentra a 2000 msnm.

Las especies predominantes en esta parcela experimental y áreas contiguas son:

Árbóreas: Ausentes en la parcela y en áreas colindantes

Arbustivas: *Calliandra eriophylla*, *Dalea bicolor*, *Dodonaea viscosa*, *Eysenhardtia polystachya* y *Mimosa biuncifera*.

Herbáceas: *Bouteloua gracilis* y *Turnera diffusa*.

b) Parcela experimental número 2. Es un área con menor profundidad de suelo y mayor pedregosidad, con fragmentos desde 0.02 (arena gruesa) a 0.10 m con aristas subangulares; también hay afloramientos soterrados de ignimbrita que conforman superficies de pavimento de 0.60 a 1.0 m², y se observan cantos aislados mayores de 0.10 m. Su accesibilidad ha favorecido diferentes grados de perturbación humana del paisaje, como la acumulación de escombros. Su altitud es de 1980 msnm.

Las especies predominantes en esta parcela experimental y áreas contiguas son las siguientes.

Árbóreas: *Acacia schaffneri*, *Prosopis laevigata* y *Yucca filifera*.

Arbustivas: *Brickellia veronicifolia*, *Bursera fagaroides*, *Calliandra eriophylla*, *Condalia mexicana*, *Dalea bicolor*, *Dodonaea viscosa*, *Eysenhardtia polystachya* y *Mimosa biuncifera*.

Herbáceas: *Bouteloua gracilis* y *Turnera diffusa*.

c) Parcela experimental número 3. Esta parcela se delimitó sobre el declive terminal de la loma Capulines con exposición al sur. El área de la parcela presenta una superficie llana y cóncava, hacia su parte inferior, donde es cortada por cárcavas que terminan en la margen izquierda del río Santiago. La pedregosidad cubre el 80 % de su superficie, con fragmentos desde 0.05 a 0.15 m. La cobertura vegetal alcanza 65 %. La profundidad del suelo se incrementa hacia la concavidad del relieve, pero disminuye abruptamente en las cárcavas. Se encuentra a 1980 msnm.

Las especies predominantes en esta parcela y sus alrededores son las siguientes.

Arbóreas: *Acacia schaffneri*, *Cupressus sempervirens* (introducida), *Prosopis laevigata* y *Yucca filifera*.

Arbustivas: *Brickellia veronicifolia*, *Bursera fagaroides*, *Calliandra eriophylla*, *Condalia mexicana*, *Dalea bicolor*, *Dodonaea viscosa*, *Parthenium argentatum* y *Mimosa biuncifera*.

Herbáceas: *Bouteloua gracilis*, *Bouteloua curtipendula*, *Sporobolus airoides* y *Turnera diffusa*.

d) Parcela experimental número 4. Se localiza sobre el declive terminal del fraccionamiento Lomas 4ª sección, y colinda con el camino a la presa de San José. Es una superficie suave, convexo-cóncava, con menor pedregosidad que las parcela experimentales 2 y 3 de esta geoforma; le favorece una cobertura vegetal de 85 %. La erosión es laminar y descendente, la cual se confina principalmente en el pequeño arroyo que drena desde la parte central de la parcela en dirección SSW – NE. Se encuentra a 1995 msnm.

Las especies predominantes actualmente en esta parcela y sus alrededores son las siguientes.

Arbóreas: *Acacia schaffneri*, *Cupressus sempervirens* (introducida), *Casuarina cunninghamiana* (introducida), *Eucaliptus camaldulensis* (introducida), *Prosopis laevigata* y *Schinus molle* (naturalizada).

Arbustivas: *Brickellia veronicifolia*, *Calliandra eriophylla*, *Condalia mexicana*, *Dalea bicolor*, *Parthenium argentatum* y *Mimosa biuncifera*.

Herbáceas: *Bouteloua gracilis*, *Bouteloua curtipendula* y *Sporobolus airoides*.

4.1.3 Parcelas experimentales en cañadas con suelos profundos y mayor disponibilidad de humedad

Las parcelas experimentales en la geoforma cañada se ubicaron en las márgenes del río de Santiago. Esta geoforma presenta declives de menos que 4 %, y durante la época de lluvias es disectada por el flujo fluvial y permanece inundada durante la estación estival. Sus parcelas experimentales 3 y 4 son las más propensas a la acción erosiva frecuente.

a) Parcela experimental número 1. Se ubica sobre el margen derecho del arroyo que drena de sur a norte y concluye en el río Santiago. El suelo consta de arenas, limos y guijarros en contacto abrupto predominantemente; cuando se estratifica en capas, su profundidad se acentúa, como sucede hacia el poniente. En algunos puntos, sobresale parcialmente la superficie de los bloques de roca que conforman el cauce en la cañada. Se encuentra a 1900 msnm.

Las especies predominantes en esta parcela experimental y áreas contiguas son las siguientes.

Árbóreas: *Acacia farnesiana*, *Acacia schaffneri*, *Prosopis laevigata*, *Salix babylonica* y *Schinus molle* (naturalizada).

Arbustivas: *Brickelia veronicifolia*, *Dodonaea viscosa*, *Dalea bicolor* y *Mimosa biuncifera*.

Herbáceas: *Bothriochloa barbinodis*, *Bouteloua gracilis*, *Bouteloua repens*, *Sporobolus airoides* y *Stipa* sp.

b) Parcela experimental número 2. Es una superficie suave que declina hacia el margen izquierdo del río Santiago. El suelo es de textura limosa, sin manifestación de horizontes bien definidos a excepción de un horizonte "C" de caliche moderadamente compacto, localizado a diferente profundidad. La alteración de la profundidad del suelo se debe a la convexidad e intersección de brechas y veredas erosionadas por la actividad humana. Tiene una cobertura vegetal de 60 %, una pedregosidad de 5 % y se ubica a 1910 msnm.

Las especies predominantes en esta parcela experimental y áreas contiguas se enumeran enseguida.

Arbóreas: *Acacia schaffneri*, *Cupressus sempervirens* (introducida), *Prosopis laevigata* y *Schinus molle* (naturalizada).

Arbustivas: *Brickellia veronicifolia*, *Condalia mexicana*, *Dalea bicolor*, *Dodonaea viscosa* y *Mimosa biuncifera*.

Herbáceas: *Bothriochloa barbinodis*, *Bouteloua gracilis*, *Bouteloua repens* y *Setaria macrostachya*.

c) Parcela experimental número 3. Presenta una superficie convexa-cóncava en sentido transversal y cóncava en dirección de la corriente de agua; permanece inundada durante la época pluvial, pero posteriormente sólo contienen humedad las pozas naturales y las formadas por la extracción de material pétreo. Algunas de las depresiones permanecen con vegetación acuática en su parte más profunda. Al terminar la época de lluvias queda depositado material limo arenoso sobre las partes más llanas. Sobre el margen norte se encuentra suelo limo arenoso más profundo, cuyo espesor disminuye hacia la depresión de la vega central del río. El suelo carece de horizontes definidos y, en general, el contacto entre las partículas es abrupto y aleatorio. Su altitud es de 1890 msnm.

Las especies predominantes en esta parcela experimental y áreas contiguas son las siguientes.

Arbóreas: *Acacia schaffneri*, *Cupressus sempervirens* (introducida), *Prosopis laevigata*, *Salix babylonica* y *Schinus molle* (naturalizada).

Arbustivas: *Brickellia veronicifolia*, *Condalia mexicana*, *Dalea bicolor*, *Dodonaea viscosa* y *Mimosa biuncifera*.

Herbáceas: *Bothriochloa barbinodis*, *Bouteloua gracilis*, *Setaria macrostachya*, *Sporobolus airoides* y *Typha dominguensis*.

d) Parcela experimental número 4. Esta parcela se ubicó sobre el margen derecho del río Santiago. En dirección perpendicular al río, de sur a norte, su superficie es recta y cóncava, pero en sentido de la corriente es cóncava y con declive suave. En la parte recta,

presenta bloques soterrados de ignimbrita. La profundidad del suelo disminuye de sur a norte; en la parte sur es particularmente areno limoso, lo cual contribuye al proceso edáfico. En la parte cóncava hay algunas pequeñas depresiones donde prospera vegetación acuática. Se encuentra a 1890 msnm.

Las especies predominantes en esta parcela experimental y áreas contiguas se enumeran a continuación.

Arbóreas: *Acacia schaffneri*, *Cupressus sempervirens* (introducida), *Prosopis laevigata*, *Salix babylonica* y *Schinus molle* (naturalizada)

Arbustivas: *Brickelia veronicifolia*, *Condalia mexicana*, *Dalea bicolor*, *Dodonaea viscosa* y *Mimosa biuncifera*.

Herbáceas: *Bothriochloa barbinodis*, *Bouteloua gracilis*, *Setaria macrostachya*, *Sporobolus airoides* y *Typha dominguensis*.

4.2 Modelo de restauración ecológica

Un modelo de restauración ecológica consiste básicamente, en una imagen objetivo en términos de cobertura vegetal (Protocolo Distrital de Restauración Ecológica-DAMA, 2002). Para la conformación del modelo de restauración requerido, primeramente se realizaron recorridos en el área de estudio para reconocer en forma preliminar:

- Las especies presentes en los sitios deteriorados y en la vegetación nativa de los alrededores.
- Las dificultades para repoblar las especies en las condiciones presentes.
- Las características del paisaje, el suelo y sus propiedades hidrológicas.

Como base para definir las características del modelo de restauración ecológica, se realizó una revisión de bibliografía florística esto es, la relacionada con las especies propias del área de los tres estratos o conjuntos de formas vitales principales (Calderón, 1957; Rzedowski, 1961, 1968), y sobre estudios cuantitativos estructurales de vegetación arbustiva (Aguirre R., 1970; Aldrete M., 1981; Luna M. y Aguirre R., 2001), para establecer las densidades (individuos/área) aproximadas para las especies de cada forma vital, así como recorridos de campo en áreas colindantes a la zona de estudio. Esto permitió establecer cuántas y cuáles especies considerar y su número de individuos de cada estrato

(herbáceo, arbustivo y arbóreo). El modelo numérico de restauración ecológica definido se presenta en el Cuadro 6. Como se indica, lo proyectado sólo sirvió como guía, pues en un número variable de caso resultó imposible, en el tiempo dispuesto, producir los plantones requeridos; la lista de especies se presenta en el apéndice 2.

Cuadro 6. Modelo de restauración ecológica proyectado (Py) y realizado (Re) para el Parque Urbano Paseo de la Presa.

Geoforma	Especies/ha		Plantones/especie				Plantones totales			
	Py	Re	ha		parcela		ha		parcela	
			Py	Re	Py	Re	Py	Re	Py	Re
Árboles (6 m entre ellos)										
Loma	18	14	20	20	5	5	360	280	90	70
Ladera	13	11	20	20	5	5	260	220	65	55
Cañada	21	14	16	16	4	4	336	224	84	56
Subtotales	52	39	56	56	14	14	956	724	239	181
Arbustos (4 m entre ellos)										
Loma	40	28	16	16	4	4	640	448	160	112
Ladera	39	28	16	16	4	4	624	448	156	112
Cañada	8	8	104	104	26	26	832	832	208	208
Subtotales	87	64	136	136	2,096	2,096	2,096	1,728	524	432
Herbáceas (2.5 m entre ellas)										
Loma	20	14	80	80	20	20	1600	1120	400	280
Ladera	20	14	80	80	20	20	1600	1120	400	280
Cañada	9	8	160	160	40	40	1440	1280	360	320
Subtotales	49	36	320	320	80	80	4,640	3,520	1,160	880
Totales	188	139	512	512	2,190	2,190	7,692	5,972	1,923	1,493

4.3. Distribución de los plántones en las parcelas experimentales

Con base en el modelo de restauración ecológica definido (Cuadro 6), se realizó por sorteo la asignación por subparcela de los plántones de cada una de las especies vegetales, en cada parcela experimental de la geoforma respectiva.

4.3.1 Especies y número de plántones de las parcelas experimentales en la geoforma loma

Las especies elegidas para ser plantadas en las parcelas experimentales correspondientes a la geoforma loma, la de suelos y niveles intermedios de humedad edáfica, fueron las siguientes:

a) Árboles: cinco individuos de cada especie por parcela

- | | |
|--------------------------------|----------------------------------|
| 1. <i>Acacia constricta</i> | 8. <i>Prosopis laevigata</i> |
| 2. <i>Acacia schaffneri</i> | 9. <i>Quercus coccolobifolia</i> |
| 3. <i>Acacia farnesiana</i> | 10. <i>Quercus crassifolia</i> |
| 4. <i>Casimiroa pringlei</i> | 11. <i>Quercus potosina</i> |
| 5. <i>Juniperus flaccida</i> | 12. <i>Schinus molle</i> |
| 6. <i>Parkinsonia aculeata</i> | 13. <i>Yucca filifera</i> |
| 7. <i>Pinus cembroides</i> | 14. <i>Yucca decipiens</i> |

b) Arbustos: cuatro individuos de cada especie por parcela

- | | |
|------------------------------------|--|
| 1. <i>Agave filifera</i> | 15. <i>Dasyilirion acrotriche</i> |
| 2. <i>Agave lechuguilla</i> | 16. <i>Dodonaea viscosa</i> |
| 3. <i>Agave salmiana</i> | 17. <i>Echinocereus conglomeratus</i> |
| 4. <i>Agave striata</i> | 18. <i>Eupatorium scorodonioides</i> |
| 5. <i>Aloysia lycioides</i> | 19. <i>Ferocactus histrix</i> |
| 6. <i>Amelanchier denticulata</i> | 20. <i>Ferocactus latispinus</i> |
| 7. <i>Atriplex canescens</i> | 21. <i>Haplopappus venetus</i> |
| 8. <i>Berberis trifoliolata</i> | 22. <i>Heliopsis longipes</i> |
| 9. <i>Brickellia veronicifolia</i> | 23. <i>Lycium barbinodum</i> |
| 10. <i>Bursera fagaroides</i> | 24. <i>Myrtillocactus geometrizans</i> |
| 11. <i>Calliandra eriophylla</i> | 25. <i>Opuntia streptacantha</i> |
| 12. <i>Condalia mexicana</i> | 26. <i>Rhus microphylla</i> |
| 13. <i>Chrysactinia mexicana</i> | 27. <i>Senecio praecox</i> |
| 14. <i>Dalea bicolor</i> | 28. <i>Sophora secundiflora</i> |

c) Herbáceas: 20 individuos de cada especie por parcela

- | | |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 1. <i>Bothriochloa barbinodis</i> | 8. <i>Euphorbia antisiphilitica</i> |
| 2. <i>Bouteloua curtipendula</i> | 9. <i>Mammillaria bocasana</i> |
| 3. <i>Bouteloua gracilis</i> | 10. <i>Mammillaria uncinata</i> |
| 4. <i>Bouteloua escorpioides</i> | 11. <i>Mammillaria magnimamma</i> |
| 5. <i>Bouteloua repens</i> | 12. <i>Panicum obtusum</i> |
| 6. <i>Coryphanta potosina</i> | 13. <i>Sedum sp.</i> |

7. *Echeveria agavoides*14. *Setaria macrostachya*

En la Figura 2 se muestra la asignación aleatoria de los plantones en las subparcelas de 10 x 10 m, en las cuales se dividió cada una de las cuatro parcelas de esta geoforma. Los números que siguen a cada forma vital corresponden al número de orden de las especies en las listas previas.

Subparcela 1 Árboles: 1,5,13 Arbustos: 3,8,12,17,27 Herbáceas:2,3,4,5,6, 7,8,9,10,11,12,13, 14	Subparcela 6 Árboles: 4,6,14 Arbustos:7,10,15, 23 Herbáceas:1,3,4,5 6,7,8,9,10,11,12, 13,14	Subparcela 11 Árboles: 3,7,11 Arbustos:2,14,20, 25 Herbáceas:1,2,4,5 6,7,8,9,10,11,12, 13,14	Subparcela 16 Árboles: 4,8,9 Arbustos:5,12,13, 22 Herbáceas:1,2,3,5 6,7,8,9,10,11,12, 13,14	Subparcela 21 Árboles:1,5,11 Arbustos:4,7,9,15 Herbáceas:1,2,3,4 6,7,8,9,10,11,12, 13,14
Subparcela 2 Árboles: 2,8,13 Arbustos:1,10,11,18 Herbáceas:1,2,3,4,5, 7,8,9,10,11,12,13, 14	Subparcela 7 Árboles: 2,8,14 Arbustos:5,14,16, 19,26 Herbáceas:1,2,3,4, 5,6,8,9,10,11,12, 13,14	Subparcela 12 Árboles: 6,9,13 Arbustos:4,8,19,22 24 Herbáceas:1,2,3,4, 5,6,7,9,10,11,12, 13,14	Subparcela 17 Árboles: 10,11,14 Arbustos:6,10,17, 20,28 Herbáceas:1,2,3,4, 5,6,7,8,10,11,12, 13,14	Subparcela 22 Árboles: 2,6 Arbustos:3,15,16, 23 Herbáceas:1,2,3,4, 5,6,7,8,9,11,12, 13,14
Subparcela 3 Árboles: 3,7,12 Arbustos: 3,9,22,24,28 Herbáceas:1,2,3,5,6, 7,8,9,10,12,13	Subparcela 8 Árboles: 5,9 Arbustos:6,13,15, 23 Herbáceas:1,2,3,4, 5,6,7,8,9,10,11,13	Subparcela 13 Árboles: 1,7,12 Arbustos:1,11,12, 21,27 Herbáceas:1,2,3,4, 5,6,7,8,9,10,11,12	Subparcela 18 Árboles: 5,10 Arbustos:4,7,14, 18,26 Herbáceas:2,3,4,5, 6,7,8,9,10,11,12, 13	Subparcela 23 Árboles: 3,8,12 Arbustos:2,9,13,20 25 Herbáceas:1,3,4,5, 6,7,8,9,10,11,12, 13
Subparcela 4 Árboles: 2,6,11 Arbustos: 4,11,19,27 Herbáceas:1,2,4,5,6, 7,8,9,10,11,12,13, 14	Subparcela 9 Árboles: 4,12,14 Arbustos:5,13,21, 24,25 Herbáceas:1,2,3,5, 6,7,8,9,10,11,12, 13,14	Subparcela 14 Árboles: 9,10,13 Arbustos:6,14,18, 28 Herbáceas:1,2,3,4, 6,7,8,9,10,11,12, 13,14	Subparcela 19 Árboles: 4,7 Arbustos:2,8,21,22 Herbáceas:1,2,3,4, 5,7,8,9,10,11,12, 13,14	Subparcela 24 Árboles: 6,11 Arbustos:3,11,17, 23,26 Herbáceas:1,2,3,4, 5,6,8,9,10,11,12, 13,14
Subparcela 5 Árboles: 1,4,9 Arbustos: 2,7,9,18,28 Herbáceas:1,2,3,4,5, 6,7,9,10,11,12,13, 14	Subparcela 10 Árboles: 3,8,10 Arbustos:6,16,20, 26 Herbáceas:1,2,3,4, 5,6,7,8,10,11,12, 13,14	Subparcela 15 Árboles: 2,6,14 Arbustos:1,8,12,17 Herbáceas:1,2,3,4, 5,6,7,8,9,11,12,13, 14	Subparcela 20 Árboles: 3,7 Arbustos:5,19,21, 25 Herbáceas:1,2,3,5, 6,7,8,9,10,12,13, 14	Subparcela 25 Árboles: 1,5,10 Arbustos:1,10,16, 24,27 Herbáceas:1,2,3,4, 5,6,7,8,9,10,11,13, 14

Figura 2. Esquema de las parcelas de la geoforma loma, con las divisiones o subparcelas de 10 x 10 m, y asignación de plantones por forma vital.

4.3.2 Especies y número de plantones de las parcelas experimentales en la geoforma ladera

Las especies elegidas para ser plantadas en las parcelas experimentales correspondientes a la geoforma ladera, la de suelos someros erosionados, fueron las siguientes:

a) Árboles: cinco individuos de cada especie por parcela

- | | |
|--------------------------------|----------------------------------|
| 1. <i>Acacia constricta</i> | 7. <i>Prosopis laevigata</i> |
| 2. <i>Acacia farnesiana</i> | 8. <i>Quercus coccolobifolia</i> |
| 3. <i>Acacia schaffneri</i> | 9. <i>Quercus crassifolia</i> |
| 4. <i>Cupressus arizonica</i> | 10. <i>Quercus potosina</i> |
| 5. <i>Parkinsonia aculeata</i> | 11. <i>Schinus molle</i> |
| 6. <i>Pinus cembroides</i> | |

b) Arbustos: cuatro individuos de cada especie por parcela

- | | |
|---------------------------------------|--|
| 1. <i>Agave filifera</i> | 15. <i>Dodonaea viscosa</i> |
| 2. <i>Agave lechuguilla</i> | 16. <i>Echinocereus conglomeratus</i> |
| 3. <i>Agave salmiana</i> | 17. <i>Eupatorium scorodonioides</i> |
| 4. <i>Agave striata</i> | 18. <i>Eysenhardtia polystachya</i> |
| 5. <i>Aloysia lycioides</i> | 19. <i>Ferocactus histrix</i> |
| 6. <i>Amelanchier denticulata</i> | 20. <i>Ferocactus latispinus</i> |
| 7. <i>Atriplex canescens</i> | 21. <i>Haplopappus venetus</i> |
| 8. <i>Brickellia verocainicifolia</i> | 22. <i>Heliopsis longipes</i> |
| 9. <i>Bursera fagaroides</i> | 23. <i>Lycium barbinoidi</i> |
| 10. <i>Calliandra eriophylla</i> | 24. <i>Myrtillocactus geometrizans</i> |
| 11. <i>Condalia mexicana</i> | 25. <i>Opuntia streptacantha</i> |
| 12. <i>Chrysactinia mexicana</i> | 26. <i>Rhus microphylla</i> |
| 13. <i>Dalea bicolor</i> | 27. <i>Senecio praecox</i> |
| 14. <i>Dasyilirion acrotriche</i> | 28. <i>Sophora secundiflora</i> |

c) Herbáceas: 20 individuos de cada especie por parcela

- | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 1. <i>Bothriochloa barbinodis</i> | 8. <i>Mammillaria bocasana</i> |
| 2. <i>Bouteloua curtipendula</i> | 9. <i>Mammillaria uncinata</i> |
| 3. <i>Bouteloua gracilis</i> | 10. <i>Mammillaria magnimamma</i> |
| 4. <i>Bouteloua repens</i> | 11. <i>Panicum obtusum</i> |
| 5. <i>Coryphanta potosina</i> | 12. <i>Sedum</i> sp. |
| 6. <i>Echeveria agavoides</i> | 13. <i>Setaria macrostachya</i> |
| 7. <i>Euphorbia antisyphilitica</i> | 14. <i>Sporobolus airoides</i> |

En la Figura 3 se muestra la asignación aleatoria de los plantones en las subparcelas de 10 x 10 m, en las que se dividió cada una de las cuatro parcelas de esta geoforma. Los números que siguen a cada forma vital corresponden al número de orden de las especies en las listas previas.

Subparcela 1 Árboles: 1,5,11 Arbustos: 3,8,12,17 Herbáceas:2,3,4,5,6, 7,8,9,10,11,12,13, 14	Subparcela 6 Árboles: 2,10 Arbustos:7,10,15, 23 Herbáceas:1,3,4,5, 6,7,8,9,10,11,12, 13,14	Subparcela 11 Árboles: 7,9 Arbustos: 2,14, 20,28 Herbáceas:1,2,4,5, 6,7,8,9,10,11,12, 13,14	Subparcela 16 Árboles: 2,6 Arbustos:5,12, 13, 22 Herbáceas:1,2,3,5, 6,7,8,9,10,11,12, 13,14	Subparcela 21 Árboles: 1,4 Arbustos: 4,7,9,15 Herbáceas:1,2,3,4, 6,7,8,9,10,11,12, 13,14
Subparcela 2 Árboles: 3,10 Arbustos: 2,7,9,18 Herbáceas:1,2,3,4,5, 7,8,9,10,11,13	Subparcela 7 Árboles: 4,5 Arbustos:6,16, 20, 25,28 Herbáceas:1,2,3,4, 5,6,8,9,10,11,13	Subparcela 12 Árboles: 6,7,11 Arbustos:1,8,12,17 26 Herbáceas:1,2,3,4, 5,6,7,8,9,11,13	Subparcela 17 Árboles: 5,9 Arbustos:5,19,21, 27 Herbáceas:1,2,3,4, 5,6,7,8,9,11,13	Subparcela 22 Árboles: 3,7 Arbustos: 1,10,16, 24 Herbáceas:1,2,3,4, 5,6,7,8,9,10,13
Subparcela 3 Árboles: 4,9 Arbustos:1,10,11,18 Herbáceas:2,3,4,5,6, 7,8,9,10,11,12,13, 14	Subparcela 8 Árboles: 3,7 Arbustos: 5,14, 16, 19,25,27 Herbáceas:1,3,4,5, 6,7,8,9,10,11,12, 13,14	Subparcela 13 Árboles: 1,8 Arbustos: 4,8,19, 22,24,28 Herbáceas:1,2,4,5, 6,7,8,9,10,11,12, 13,14	Subparcela 18 Árboles: 2,10 Arbustos: 6,10, 17, 20,26 Herbáceas:1,2,3,5, 6,7,8,9,10,11,12, 13,14	Subparcela 23 Árboles: 4,9,11 Arbustos: 3,15, 16, 23 Herbáceas:1,2,3,4, 6,7,8,9,10,11,12, 13,14
Subparcela 4 Árboles: 3,6 Arbustos: 3,9,22, 24 Herbáceas:1,2,3,4,5, 7,8,9,10,11,12,14	Subparcela 9 Árboles: 4,5 Arbustos: 6,13, 15,23,27 Herbáceas:1,2,3,4, 5,6,8,9,10,11,12, 14	Subparcela 14 Árboles: 8,10 Arbustos: 1,11, 12, 21,26 Herbáceas:1,2,3,4, 5,6,7,8,9,11,12,14	Subparcela 19 Árboles: 6,8 Arbustos: 4,7,14, 18,25 Herbáceas:1,2,3,4, 5,6,7,8,9,11,12,14	Subparcela 24 Árboles: 3,6 Arbustos: 2,9,13, 20,27 Herbáceas:1,2,3,4, 5,6,7,8,9,10,12,14
Subparcela 5 Árboles: 1,8 Arbustos:4,11,19,26 Herbáceas:2,3,4,5,6, 7,8,9,10,11,12,13, 14	Subparcela 10 Árboles: 2,10 Arbustos:5,13,21, 24 Herbáceas:1,3,4,5, 6,7,8,9,10,11,12, 13,14	Subparcela 15 Árboles: 5,9,11 Arbustos: 6,14, 18, 25,26 Herbáceas:1,2,4,5, 6,7,8,9,10,11,12, 13,14	Subparcela 20 Árboles: 2,7 Arbustos:2,8,21,22 Herbáceas:1,2,3,5, 6,7,8,9,10,11,12, 13,14	Subparcela 25 Árboles: 1,8,11 Arbustos: 3,11, 17, 23,28 Herbáceas:1,2,3,4, 6,7,8,9,10,11,12, 13,14

Figura 3. Esquema de las parcelas de la geoforma ladera, con las divisiones o subparcelas de 10 x 10 m, y la asignación de plantones por forma vital.

4.3.3 Especies y número de plántones parcelas experimentales en la geoforma cañada

Las especies elegidas para ser plantadas en las parcelas experimentales correspondientes a la geoforma cañada, la de suelos profundos y mayor disponibilidad de humedad, fueron las siguientes:

a) Árboles: cuatro individuos de cada especie por parcela

- | | |
|--------------------------------|--------------------------------|
| 1. <i>Acacia constricta</i> | 9. <i>Platanus mexicana</i> |
| 2. <i>Acacia farnesiana</i> | 10. <i>Pinus cembroides</i> |
| 3. <i>Acacia schaffneri</i> | 11. <i>Prosopis laevigata</i> |
| 4. <i>Bauhinia coulteri</i> | 12. <i>Prunus serotina</i> |
| 5. <i>Carya ovata</i> | 13. <i>Quercus crassifolia</i> |
| 6. <i>Cupressus arizonica</i> | 14. <i>Schinus molle</i> |
| 7. <i>Parkinsonia aculeata</i> | 15. <i>Taxodium mucronatum</i> |
| 8. <i>Persea americana</i> | |

La especie *Bauhinia coulteri* sólo se plantó en la parcela número 2, debido a que únicamente se consiguieron unas cuantas semillas y se produjo un número reducido de plántones.

b) Arbustos: 26 individuos cada especie por parcela

- | | |
|------------------------------------|---------------------------------|
| 1. <i>Amelanchier denticulada</i> | 5. <i>Haplopappus venetus</i> |
| 2. <i>Brickellia veronicifolia</i> | 6. <i>Leucaena leucocephala</i> |
| 3. <i>Bursera fagaroides</i> | 7. <i>Salix babylonica</i> |
| 4. <i>Dalea bicolor</i> | 8. <i>Tecoma stans</i> |

c) Herbáceas: 40 individuos de cada especie por parcela

1. *Bothriochloa barbinodis*
2. *Bouteloua gracilis*
3. *Bouteloua curtipendula*
4. *Bouteloua repens*
5. *Buchloë dactyloides*
6. *Panicum obtusum*
7. *Setaria macrostachya*
8. *Sporobolus airoides*

En la Figura 4 se muestra la asignación aleatoria de los plantones en las subparcelas de 10 x 10 m, en las que se dividió cada una de las cuatro parcelas de esta geoforma. Los números que siguen a cada forma vital corresponden al número de orden de las especies en las listas previas.

Subparcela 1 Árboles: 1,5,11 Arbustos: 1,2,3,4,5,6,7,8 Herbáceas: 1,2,3,4, 5,6,7,8	Subparcela 6 Árboles: 2,14,15 Arbustos: 1,2,3,4,5,6,7,8 Herbáceas: 1,2,3,4, 5,6,7,8	Subparcela 11 Árboles: 7,10 Arbustos: 1,2,3,4,5,6,7,8 Herbáceas: 1,2,3,4, 5,6,7,8	Subparcela 16 Árboles: 2,6,13 Arbustos: 1,2,3,4,5,6,7,8 Herbáceas: 1,2,3,4, 5,6,7,8	Subparcela 21 Árboles: 1,8,12 Arbustos: 1,2,3,4,5,6,7,8 Herbáceas: 1,2,3,4, 5,6,7,8
Subparcela 2 Árboles: 3,6,10 Arbustos: 1,2,3,4,5,6,7,8 Herbáceas: 1,2,3,4, 5,6,7,8	Subparcela 7 Árboles: 4,12 Arbustos: 1,2,3,4,5,6,7,8 Herbáceas: 1,2,3,4, 5,6,7,8	Subparcela 12 Árboles: 2,7 Arbustos: 1,2,3,4,5,6,7,8 Herbáceas: 1,2,3,4, 5,6,7,8	Subparcela 17 Árboles: 5,14,15 Arbustos: 1,2,3,4,5,6,7,8 Herbáceas: 1,2,3,4, 5,6,7,8	Subparcela 22 Árboles: 3,9 Arbustos: 1,2,3,4,5,6,7,8 Herbáceas: 1,2,3,4, 5,6,7,8
Subparcela 3 Árboles: 11,13,15 Arbustos: 1,2,3,4,5,6,7,8 Herbáceas: 1,2,3,4, 5,6,7,8	Subparcela 8 Árboles: 7,14 Arbustos: 1,2,3,4,5,6,7,8 Herbáceas: 1,2,3,4, 5,6,7,8	Subparcela 13 Árboles: 5,15 Arbustos: 1,2,3,4,5,6,7,8 Herbáceas: 1,2,3,4, 5,6,7,8	Subparcela 18 Árboles: 8,12 Arbustos: 1,2,3,4,5,6,7,8 Herbáceas: 1,2,3,4, 5,6,7,8	Subparcela 23 Árboles: 4,11,15 Arbustos: 1,2,3,4,5,6,7,8 Herbáceas: 1,2,3,4, 5,6,7,8
Subparcela 4 Árboles: 3,6,13 Arbustos: 1,2,3,4,5,6,7,8 Herbáceas: 1,2,3,4, 5,6,7,8	Subparcela 9 Árboles: 10,15 Arbustos: 1,2,3,4,5,6,7,8 Herbáceas: 1,2,3,4, 5,6,7,8	Subparcela 14 Árboles: 4,8,9 Arbustos: 1,2,3,4,5,6,7,8 Herbáceas: 1,2,3,4, 5,6,7,8	Subparcela 19 Árboles: 6,10,14 Arbustos: 1,2,3,4,5,6,7,8 Herbáceas: 1,2,3,4, 5,6,7,8	Subparcela 24 Árboles: 3,12,13 Arbustos: 1,2,3,4,5,6,7,8 Herbáceas: 1,2,3,4, 5,6,7,8
Subparcela 5 Árboles: 1,9,15 Arbustos: 1,2,3,4,5,6,7,8 Herbáceas: 1,2,3,4, 5,6,7,8	Subparcela 10 Árboles: 4,8 Arbustos: 1,2,3,4,5,6,7,8 Herbáceas: 1,2,3,4, 5,6,7,8	Subparcela 15 Árboles: 5,11 Arbustos: 1,2,3,4,5,6,7,8 Herbáceas: 1,2,3,4, 5,6,7,8	Subparcela 20 Árboles: 2,7,15 Arbustos: 1,2,3,4,5,6,7,8 Herbáceas: 1,2,3,4, 5,6,7,8	Subparcela 25 Árboles: 1,9,15 Arbustos: 1,2,3,4,5,6,7,8 Herbáceas: 1,2,3,4, 5,6,7,8

Figura 4. Esquema de las parcelas de la geoforma cañada, con las divisiones o subparcelas de 10 x 10 m, y la asignación de plantones por forma vital.

4.4 Elección final de las especies y recolecta de semilla

La investigación bibliográfica permitió construir una primera aproximación a la composición florística y otros atributos estructurales de las tres variantes de vegetación potencial, las cuales conformaron el modelo de restauración. Luego, durante los recorridos exploratorios en la zona de estudio y áreas colindantes, se localizaron parajes cercanos con hábitats físicos similares a los tres reconocidos en la zona de estudio, con algunos individuos relicto y con porciones de vegetación poco perturbada. Estos hallazgos permitieron confirmar o reconocer otras especies que pudieron haber existido

en el área de estudio, pues de acuerdo con Arriaga *et al.* (1994), en un ambiente determinado, estas especies, son las que tienen mayores posibilidades de sobrevivir y adaptarse, ya que se localizan dentro de su área de distribución geográfica y ecológica.

Otros criterios complementarios en la elección de especies para conformar el modelo de la restauración ecológica en el parque urbano Paseo de la Presa de San José fueron:

a) Su importancia biológica en cada uno de los tres estratos de sus comunidades respectivas, en términos de abundancia, corpulencia, longevidad o relaciones benéficas con otros organismos.

b) Su utilidad diversa (construcción, leña, forraje, alimento u otras), ya que por esta razón fueron de las primeras en ser erradicadas localmente hace bastante tiempo, y al tener también este valor cultural resulta importante reintroducirlas y difundirlas.

La identificación de todas las especies fue proporcionada o corroborada por el señor José R. García P., taxónomo del Herbario Isidro Palacios del IIZD, quien también amablemente preparó la lista completa de las especies utilizadas en este trabajo, la cual se incluye como apéndice.

La recolecta de semilla se comenzó a realizar durante estos recorridos exploratorios, siempre que se presentara la oportunidad, o al menos se registraba la fase reproductora de las diferentes especies para monitorizar su desarrollo y esperar la madurez de los frutos para recolectarlos. Las localidades de recolecta correspondieron a los municipios de San Luis Potosí, Mexquitic de Carmona, Villa de Arriaga y Villa de Zaragoza. De esta forma, se recolectaron semillas de las especies nativas que probablemente existían en la zona de estudio, esto es, de aquellas especies y poblaciones que pudieran estar mejor adaptadas, de acuerdo con Sigüero (1999). Cada recolecta de semilla se procesó y almacenó hasta iniciar su germinación. El proceso consistió en extraerlas de los frutos, limpiarlas y secarlas extendidas a la sombra, en condiciones de laboratorio durante unos 15 días. Las semillas secas se colocaron en frascos cerrados bajo refrigeración a 5 °C hasta iniciar su germinación.

4.5 Producción de plantones

Benítez *et al.* (2004) comentan que para lograr una adecuada producción de plantones, es necesario reunir, generar y aplicar conocimientos sobre los requisitos ecológicos de las especies, así como el desarrollo de técnicas para su propagación y establecimiento exitoso en campo.

Los trabajos de germinación y producción de plantones se realizaron en los laboratorios, invernaderos, umbráculo y vivero del IIZD. Las etapas iniciales de desarrollo de los plantones se realizaron en condiciones de invernadero, bajo una temperatura media de 28 °C y amplitudes de 10 a 35 °C, conseguidas con calentadores eléctricos (radiadores de aceite) y enfriamiento evaporativo (extractores a través de muro húmedo). Los riegos se aplicaron mediante aspersores oscilantes. El desarrollo y endurecimiento de los plantones implicó un período bajo umbráculo, después de superado el trasplante a bolsas en el invernadero y finalmente un período a cielo abierto antes de llevarse a las parcelas experimentales.

Para el reconocimiento y solución de los numerosos problemas de germinación de estas especies silvestres (presencia frecuente de diversos tipos e intensidades de letargo), se encontró respaldo valioso en los trabajos de Arriaga *et al.* (1994), Hartman y Kester (1988), Romero M. (1982), Willan (1991) y Young y Young (1994). En las diferentes fases de la producción de plántulas, su trasplante, desarrollo y endurecimiento en el vivero, se siguieron o modificaron varias recomendaciones de Arriaga *et al.* (1994), Hartman y Kester (1988), el Protocolo Distrital de Restauración Ecológica-DAMA (Anónimo, 2002), Landis *et al.* (1990) y Ruiz (2002).

4.5.1 Germinación de la semilla

Para iniciar la germinación de las semillas de las especies elegidas se realizaron diferentes pruebas de germinación preliminares, de acuerdo con los métodos propuestos por Rebolledo *et al.* (1980) para especies nativas del altiplano potosino. Así, estos autores señalan que cuando la germinación bajo condiciones estándar es menor que 25 %, se puede considerar como “baja”, pero que antes de suponer la presencia de letargo se debe evaluar la viabilidad. Si la viabilidad de la semilla es cercana al 100 %, entonces se deben postular los tipos de letargo probables y las formas de romperlos, de acuerdo con las características de su ambiente natural. En efecto, los tratamientos para suprimir el letargo o latencia y estimular la germinación no son únicos ni universales para todas las especies, sino que cada una presenta requerimientos específicos (Pérez y Gómez, 2003). En ausencia o presencia leve de letargo resultó conveniente el tratamiento simple de remojo pregerminativo (Arriaga *et al.*, 1994; Willan 1991). Para ello se colocaron las semillas en una bandeja con agua, a temperatura ambiente, hasta 48 h, en dependencia del tiempo de imbibición, con observaciones y cambio de agua cada 12 h. Las semillas embebidas se sembraron inmediatamente y el resto se descartó. Este tratamiento de

remojo produjo buenos resultados con la semilla de *Agave* spp., *Aloysia lycioides*, *Amelanchier denticulada*, *Bouteloua* spp., *Brickellia veronicifolia*, *Chrysactinia mexicana*, *Dalea bicolor*, *Dasyllirion acrotriche*, *Eysenhardtia polystachya*, *Haplopappus venetus*, *Heliopsis longipes*, *Panicum obtusum*, *Persea americana*, *Pinus cembroides*, *Platanus mexicana*, *Senecio praecox*, *Setaria macrostachya*, *Tecoma stans* y *Yucca* spp.

El letargo más frecuente se debió a impermeabilidad y dureza de los tegumentos seminales, para lo cual se probaron dos tipos de tratamiento (Arriaga *et al.* 1994; Willan 1991). El choque térmico consistió en sumergir la semilla en un recipiente con agua hirviendo y retirarlo inmediatamente o hasta tres minutos después; luego, se dejó enfriar, se cambió el agua y se permitió la imbibición durante 24-48 h. Este procedimiento resultó satisfactorio con las semillas de *Bursera fagaroides*, *Calliandra eriophylla*, *Parkinsonia aculeata*, *Prosopis laevigata*, *Schinus molle*, y *Sophora secundiflora*. El segundo tipo de tratamiento consistió en la escarificación mecánica y química; la primera se practicó con una navaja de afeitar de un filo y consistió en un corte parcial de la testa; la escarificación química empleada se hizo con inmersión de la semilla en ácido sulfúrico concentrado durante 10 minutos a 6 horas. La escarificación mecánica fue suficiente para germinar semillas de *Juniperus flaccida*, *Quercus* spp., *Opuntia* spp. y *Taxodium mucronatum*; la escarificación química sólo se requirió para las semillas de *Acacia farnesiana* y *Acacia schaffneri*.

4.5.2 Producción de plántula en contenedor

En general, para la producción de plántulas de especies con semilla pequeña (<1.0 cm), es conveniente primero generar las plántulas en condiciones más controlables, que sembrarlas directamente en las bolsas de vivero donde se van a desarrollar. Sólo las semillas de *Persea*, *Carya* y *Casimiroa* se sembraron directamente en las bolsas de vivero.

Para la producción de las plántulas a partir de semillas pequeñas se utilizaron contenedores tubulares (conos) de plástico marca TEKU, con las siguientes características: a) rejilla o porta contenedor de 25 conos; b) conos con longitud de 18 cm; c) diámetro superior de la cavidad de 5.0 cm y diámetro inferior de la cavidad de 1.5 cm. La plántula generada en estos contenedores, se extrae fácilmente con su cepellón y así se trasplanta a las bolsas de vivero.

La utilización de contenedores en comparación con la siembra en almácigo (plántulas con raíz desnuda), presenta las siguientes ventajas en la producción de plántulas; a) en los contenedores el crecimiento es más uniforme y es más fácil la selección de las plántulas para trasplantar; b) se evita el estrés causado por exposición y pérdida de parte del sistema radical de la plántula al ser removida del almácigo; c) la mortalidad, suspensión del crecimiento y pérdida de vigor debida al transplante es casi nula.

El sustrato comercial utilizado en la producción de las plántulas fue turba “cosmo-peat”, la cual presenta las siguientes características, según el fabricante:

- pH: 5.5 – 6.5
- C. E. (mmhos/cm): 0.6 – 0.8
- Porcentaje de humedad: 45 – 50
- Densidad (kg/m^3): 130
- Retención de agua (por peso en seco): 8X – 10X
- Porcentaje de materia orgánica: 68 – 82
- Porcentaje de cenizas: 18 – 32

Las semillas, preparadas con el tratamiento pregerminativo respectivo, se sembraron en los contenedores de la siguiente manera: Los contenedores se llenaron con turba remojada previamente durante 24 horas, con lo cual se facilitó su llenado y compactación del sustrato y se redujeron las pérdidas de este material al mínimo. Luego, se colocó una semilla en cada contenedor, a una profundidad de tres a cuatro veces su tamaño, se cubrió con el propio sustrato, se presionó con la mano y se regó inmediatamente. Las rejillas de contenedores se colocaron en bloques dentro del invernadero, marcados con el nombre de la especie, fecha de siembra y tratamiento a la semilla. Se procuró que la humedad del sustrato se mantuviera alrededor del 60 % de su capacidad de retención (Bonner, citado por Romero, 1982), mediante riegos ligeros diarios, o más abundantes cada tercer día. Cuando las plántulas perdían sus hojas cotiledonares o presentaban las primeras hojas con forma definitiva, se consideraron adecuadas para ser trasplantadas a las bolsas de vivero; en general, esto se alcanzó alrededor de 45 días después de sembradas.

4.5.3 Trasplante de plántula del contenedor a bolsa de polietileno

Las actividades previas al trasplante fueron la eliminación de plántulas débiles, enfermas o retrasadas en crecimiento. A la vez, se preparó el sustrato, se llenaron las bolsas y se regaron a saturación. Las bolsas más utilizadas fueron de polietileno negro, calibre 400, de 14 x 15 x 42 cm. El sustrato finalmente utilizado estuvo compuesto de tierra lama (sedimentos de embalses), hojarasca de encino o de mezquite y estiércol seco de cabras y ovejas (sirle), en proporción 3:1:1; esta mezcla resultó adecuada ya que los plantones en general tuvieron buen crecimiento, sin deficiencias visibles de algún tipo de nutriente. En la ciudad de San Luis Potosí existen proveedores de estos materiales, quienes los entregan a domicilio por metros cúbicos.

El llenado de las bolsas se hizo manualmente y en forma gradual para poder ir compactando el sustrato, con el propósito de generar un cepellón firme y reducir la percolación y lixiviación; se procuró dejar 5 cm sin llenar para facilitar la contención del agua de riego. Un día antes del trasplante las bolsas preparadas con el sustrato se regaron hasta saturación, y el día del trasplante se les practicó una cavidad con un plantador o sacabocado. Esta herramienta se fabricó de tubo galvanizado con diámetro interior y longitud análogos a los del contenedor, dispuesto en un extremo con cortes dentados y en el otro extremo con un trozo de tubo más delgado, soldado en su parte media a manera de manubrio, para empujar y girar el sacabocado dentro del suelo de la bolsa. Para extraer la plántula con su cepellón, un extremo de la boca del cono, invertido diagonalmente, se golpea ligeramente para aflojar el cepellón y recibirlo en la palma de la mano y luego se canaliza al hoyo hecho con el sacabocado en el suelo de la bolsa; finalmente, con los dedos se aprieta el suelo alrededor de la plántula y se riega. Con práctica y cuidado se evita casi totalmente lastimar la plántula o desintegrar el cepellón.

4.6 Desarrollo de plantones

Después del trasplante a las bolsas, los plantones se mantuvieron en el invernadero hasta que alcanzaban de 25 a 35 cm, pero sin que su desarrollo llegara a ser excesivo en longitud y en debilidad del tallo. Este período duró de 3 a 4 meses en la temporada primavera-verano, y de 5 a 6 meses en la temporada otoño-invierno. Luego, para iniciar su aclimatación, los plantones se pasaron a un umbráculo con reducción del 40 % de la luz solar, donde permanecieron de 4 a 6 semanas, para finalmente colocarlos a cielo abierto para su endurecimiento hasta cumplir de 24 a 36 meses de edad.

4.7 Plantación en las parcelas experimentales

En el proceso de plantación se siguieron algunas recomendaciones de Arriaga *et al.* (1994), del Protocolo Distrital de Restauración Ecológica-DAMA (Anónimo, 2002) y de Goor (1964). Este proceso comenzó en las parcelas, en las cuales se definió y marcó el lugar preciso dentro de cada subdivisión, donde luego se hicieron y prepararon los hoyos correspondientes a cada plantón de la especie y forma vital asignada (Figuras 2, 3 y 4). De manera simultánea se hizo la selección de los plantones producidos en el vivero del IIZD y se les preparó con anticipación a su traslado al área de plantación. Finalmente, el proceso concluyó con la colocación de los plantones y la reposición posterior de aquellos que murieron debido a prácticas indebidas durante la plantación. El trabajo completo se hizo por parcela, esto es, hasta que se concluía la plantación en una parcela, se iniciaba el mismo procedimiento en la siguiente parcela.

4.7.1 Ubicación, cavadura y preparación de hoyos o cepas

Con el plan de referencia se marcó con estacas de madera de 60 cm el punto donde se cavaría cada hoyo para plantar; esto se realizó por subdivisión y por forma vital, para lo cual se usó un color distinto de estaca: rojo para árboles, negro para arbustos y blanco para herbáceas. Dentro de cada subdivisión se procuró distribuir uniformemente los plantones de árboles, luego de arbustos y finalmente de las herbáceas; sin embargo, las estacas correspondientes en ocasiones sólo fueron una guía para buscar en su proximidad el micrositio posible de ser excavado. Cuando el número de plantones asignados fue menor que el número de subdivisiones, la asignación fue al azar. La cavadura de cepas se hizo con herramientas manuales, principalmente con barra y zapapico, por lo pedregoso de las parcelas en las goeformas loma y ladera, y excavadora de palancas. Las dimensiones aproximadas de las cepas fueron 40 cm de diámetro y 40 cm de profundidad. Finalmente, en torno a la cepa se preparó un área de retención de agua, microcuenca o cajete, de 1 m de diámetro por 10 cm de altura en las goeformas loma y cañada, y en forma de media luna en la geoforma ladera.

4.7.2 Selección, preparación y traslado de plantones

Del total de los plantones de cada especie producidos en el vivero del IIZD se descartaron los menos desarrollados y con peor aspecto. Los plantones seleccionados se limpiaron de arvenses, se les podaron las ramas de los dos tercios inferiores, vivas y muertas, y se mantuvieron bien regados hasta su trasplante. El traslado de los plantones

se hizo cuidadosamente para evitar la fractura de su cepellón al golpearlos o al volcarse, y se les cubrió con una lona para evitar su deshidratación por la acción del viento. En las parcelas, los plántones se fueron distribuyendo por subdivisiones, colocándose junto a la cepa correspondiente; luego, se procedió a verificar esta disposición de plántones con el plan de distribución correspondiente.

4.7.3 Colocación de plántones y su tratamiento final

Uno o días antes de la plantación, las cepas se llenaron con 20 l de agua para saturar su fondo y paredes y evitar que deshidrataran al cepellón. Luego, antes de plantar se colocó una palada (± 1300 g) de sirle en el fondo del hoyo, cubierto con una capa de suelo para relleno, con lo cual también se reguló la profundidad del cepellón. Se procuró que la parte superior del cepellón quedara unos 10 cm por debajo de la superficie del suelo. La manipulación de los plántones se hizo individualmente, sujetándolos de la base del tallo; así, se les despojó de la bolsa de plástico cortándola con una navaja sin alterar el cepellón. Una vez colocado el cepellón en el hoyo, con la mezcla preparada de suelo se rellenaron los huecos entre el cepellón y las paredes del hoyo, compactando gradualmente con las manos y procurando la verticalidad del plánton. La mezcla de suelo de relleno se preparó con partes iguales de tierra lama (ya descrita), sirle seco y mantillo (de encinar y de mezquite), este último como fuente de microorganismos simbióticos; esta mezcla se preparó en el vivero y se llevó en costales al área experimental. Finalmente, se dio un riego abundante, el único que recibieron los plántones después de colocados en las parcelas.

4.7.4 Evaluación de la plantación

El proceso de plantación o repoblación artificial de las parcelas experimentales se realizó en tres meses, entre septiembre y diciembre del 2001. Tres meses después de concluir la plantación se hizo una revisión completa y se encontraron algunos plántones muertos sin causa aparente; al revisarlos se encontró que dos de los operarios habían cortado los cepellones por la mitad para no tener que cavar los hoyos hasta los 40 cm establecidos, de manera que la mutilación de buena parte de las raíces fue la causa de su muerte y se decidió reponerlos en el transcurso de abril a junio del 2002, después de corregir la profundidad de las cepas.

Se hicieron cuatro evaluaciones de la plantación; la primera se realizó en septiembre de 2002 y las restantes se efectuaron anualmente también en septiembre.

Estas evaluaciones fueron simplemente el registro de la mortalidad de plantones, para lo cual se revisó sistemáticamente, con los planos de referencia, cada plantón de cada forma vital, en cada subdivisión de todas las parcelas experimentales. Los datos sólo se expresan en porcentaje medio de sobrevivencia por especie, forma vital y geoforma. Se hizo también una calificación subjetiva del estado del plantón, en bueno o regular, de acuerdo con su crecimiento y aspecto, pero estos datos no se presentan en esta tesis.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el área de estudio se han sucedido varias reforestaciones (plantaciones de dos a cuatro especies arbóreas introducidas), realizadas por diversas dependencias de gobierno. A pesar de sus resultados muy poco satisfactorios se sigue realizando este tipo de repoblación artificial (probablemente por desconocimiento de métodos alternativos), con el que se llega a obtener un porcentaje muy bajo de individuos sobrevivientes, muy poco adaptados a las condiciones del área de estudio y sin relaciones coevolutivas con la flora y fauna del lugar, con lo cual se inhibe el enriquecimiento biótico, pues ni de las propias especies plantadas la repoblación natural se llega a registrar.

La restauración ecológica de áreas degradadas implica, en cambio, partir: a) del control de las causas del deterioro, que a la vez suelen ser las mismas que impiden la restauración natural; y b) de la utilización de especies de plantas propias de dichas áreas, en un número aproximado al total original y comprendiendo las diferentes formas vitales perennes que existían en la vegetación ya desaparecida de ellas Protocolo Distrital de Restauración Ecológica-DAMA (Anónimo, 2002).

Tal vez el problema más importante en la restauración ecológica sea el desconocimiento sobre la estructura (aparte de la composición florística) de la mayoría de los principales tipos de vegetación, así como las generalidades sobre su dinámica y la función en ella de cada una de las especies que conforman el estadio final Protocolo Distrital de Restauración Ecológica-DAMA (Anónimo, 2002). Así, se carece de bases suficientes para la formulación de modelos de restauración con buen grado de aproximación y alta probabilidad de ser exitosos.

La siguiente dificultad se debe a la escasez de conocimientos sobre la reproducción artificial de las especies silvestres que conformarían los modelos de restauración ecológica, así como sus requerimientos para su establecimiento exitoso (Arriaga *et al.*, 1994). Esto explica en buena parte porqué estas especies no suelen producirse en los viveros privados y oficiales. Sin embargo, estas dificultades deben irse superando, pues los procesos de restauración se vuelven cada vez más urgentes y hay mayor interés en ellos.

En forma estricta, un proyecto de restauración será exitoso cuando la fisonomía y estructura de la vegetación creada sean semejantes en una proporción mayoritaria a las de la vegetación tomada como referente Seoánes (1998). Esto implica que, al menos para las condiciones ambientales del área de estudio, se estén considerando como mínimo periodos de estudio de unos 10 a 15 años, esto es, hasta que la mayoría de los

individuos de las especies repobladas artificialmente haya llegado a la fase reproductora, y se hayan dado las oportunidades para que sobrevivan a las fluctuaciones climáticas normales y para su repoblación natural.

En los Cuadros 7 a 15 se resumen los resultados de la sobrevivencia media, por geoforma y forma vital, de los plántones de las diversas especies probadas, después de cuatro años de plantados en las parcelas experimentales.

Cuadro 7. Sobrevivencia media de cinco plántones de especies arbóreas en las cuatro parcelas de la geoforma loma.

Especie	Sobrevivencia				\bar{X}	%
	2002	2003	2004	2005		
<i>Acacia constricta</i>	5.0	2.3	2.0	2.0	2.8	56.0
<i>Acacia farnesiana</i>	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Acacia schaffneri</i>	5.0	3.3	3.3	2.0	3.4	68.0
<i>Casimiroa pringlei</i>	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Juniperus flaccida</i>	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Parkinsonia aculeata</i>	5.0	3.0	2.5	2.5	3.3	66.0
<i>Pinus cembroides</i>	5.0	4.8	4.8	4.8	4.9	98.0
<i>Prosopis laevigata</i>	5.0	2.8	2.5	2.5	3.2	64.0
<i>Quercus coccolobiiifolia</i>	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Quercus crassifolia</i>	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Quercus potosina</i>	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Schinus molle</i>	5.0	3.3	3.0	2.8	3.5	70.0
<i>Yucca decipiens</i>	5.0	4.0	4.0	4.0	4.3	86.0
<i>Yucca filifera</i>	5.0	4.0	4.0	4.0	4.3	86.0

En contra de lo que podría suponerse, la cañada, con las condiciones aparentemente más favorables, fue la única geoforma en donde los plántones de ninguna especie sobrevivieron al 100 %, pues al menos dos de las cuatro parcelas en 2003 y en 2004 permanecieron inundadas durante más que de 2 meses. En el otro extremo, los plántones de varias especies arbóreas no sobrevivieron después de la primera evaluación, esto es, no llegaron a completar los dos años de plantados; esto ocurrió en las parcelas de la loma y de la ladera con todos los encinos (*Quercus* spp.), y en las parcelas de la loma

con el huizache blanco (*Acacia farnesiana*), el sapotillo (*Casimiroa pringlei*) y el cedro blanco (*Juniperus flaccida*). En el resto de las especies, la mortalidad fue generalmente gradual, con valores finales iguales o menores que el 60 %.

Cuadro 8. Supervivencia media de cuatro plantones de especies arbustivas en las cuatro parcelas de la geoforma loma.

Especie	Supervivencia					
	2002	2003	2004	2005	\bar{X}	%
<i>Agave filifera</i>	4.0	2.8	1.8	1.8	2.6	65.0
<i>Agave lechuguilla</i>	4.0	3.8	3.5	3.5	3.7	93.0
<i>Agave salmiana</i>	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	100.0
<i>Agave striata</i>	4.0	2.3	2.0	2.0	2.6	65.0
<i>Aloysia lycioides</i>	4.0	2.5	2.5	2.0	2.8	70.0
<i>Amelanchier denticulada</i>	4.0	4.0	3.0	3.0	3.5	88.0
<i>Atriplex canescens</i>	4.0	2.5	2.3	2.0	2.7	68.0
<i>Berberis trifoliolata</i>	4.0	1.8	1.3	1.3	2.1	53.0
<i>Brickellia veronicifolia</i>	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	100.0
<i>Bursera fagaroides</i>	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	100.0
<i>Calliandra eriophylla</i>	4.0	3.0	2.8	2.8	3.2	80.0
<i>Condalia mexicana</i>	4.0	2.5	2.5	2.0	2.8	70.0
<i>Chrysactinia mexicana</i>	4.0	2.0	2.0	2.0	2.5	63.0
<i>Dalea bicolor</i>	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	100.0
<i>Dasyllirion acrotriche</i>	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	100.0
<i>Dodonaea viscosa</i>	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	100.0
<i>Echinocereus conglomeratus</i>	4.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Eupatorium scorodonioides</i>	4.0	1.8	1.8	1.3	2.2	55.0
<i>Ferocactus histrix</i>	4.0	2.5	2.5	2.3	2.8	70.0
<i>Ferocactus latispinus</i>	4.0	2.8	2.8	2.3	2.9	73.0
<i>Haplopappus venetus</i>	4.0	2.0	1.8	1.3	2.3	58.0
<i>Heliopsis longipes</i>	4.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Lycium barbinodum</i>	4.0	1.3	1.8	1.5	2.1	53.0
<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	100.0
<i>Opuntia streptacantha</i>	4.0	4.0	3.3	3.3	3.7	93.0
<i>Rhus microphylla</i>	4.0	1.0	1.0	1.0	1.8	45.0
<i>Senecio praecox</i>	4.0	1.8	1.8	1.8	2.4	60.0
<i>Sophora secundiflora</i>	4.0	1.5	1.5	1.3	2.0	50.0

Cuadro 9. Supervivencia media de veinte plantones de especies herbáceas en las cuatro parcelas de la geoforma loma.

Especie	Supervivencia				\bar{X}	%
	2002	2003	2004	2005		
<i>Bothriochloa barbinodis</i>	20.0	11.5	8.0	5.3	11.2	56.0
<i>Bouteloua curtipendula</i>	20.0	15.0	8.0	7.0	12.5	63.0
<i>Bouteloua gracilis</i>	20.0	15.3	10.5	9.0	13.7	69.0
<i>Bouteloua repens</i>	20.0	12.0	7.5	6.0	11.4	57.0
<i>Coryphanta potosina</i>	20.0	5.0	4.5	2.8	8.0	40.0
<i>Echeveria agavoides</i>	20.0	6.5	3.5	3.0	8.3	42.0
<i>Mammillaria bocasana</i>	20.0	13.0	6.8	5.0	11.2	56.0
<i>Mammillaria magnimamma</i>	20.0	9.8	6.8	5.0	10.4	52.0
<i>Mammillaria uncinata</i>	20.0	11.5	6.5	5.3	10.8	54.0
<i>Panicum obtusum</i>	20.0	13.0	7.5	5.0	11.3	57.0
<i>Sedum</i> sp.	20.0	5.3	3.8	2.3	7.9	40.0
<i>Setaria macrostachya</i>	20.0	11.5	7.3	5.5	11.0	55.0

Cuadro 10. Supervivencia media de cinco plantones de especies arbóreas en las cuatro parcelas de la geoforma ladera.

Especie	Supervivencia				\bar{X}	%
	2002	2003	2004	2005		
<i>Acacia constricta</i>	5.0	4.0	2.3	3.0	3.6	72.0
<i>Acacia farnesiana</i>	5.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Acacia schaffneri</i>	5.0	3.8	3.3	3.3	3.9	78.0
<i>Cupressus arizonica</i>	5.0	2.0	1.0	0.0	0.0	0.0
<i>Parkinsonia aculeata</i>	5.0	3.8	2.6	2.3	3.4	68.0
<i>Pinus cembroides</i>	5.0	5.0	4.6	4.6	4.8	96.0
<i>Prosopis laevigata</i>	5.0	3.8	3.0	2.3	3.5	70.0
<i>Quercus coccolobiiifolia</i>	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Quercus crassifolia</i>	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Quercus potosina</i>	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Schinus molle</i>	5.0	4.3	3.3	3.3	4.0	80.0

Cuadro 11 Supervivencia media de cuatro plantones de especies arbustivas en las cuatro parcelas de la geoforma ladera.

Especie	Supervivencia				\bar{X}	%
	2002	2003	2004	2005		
<i>Agave filifera</i>	4.0	2.8	1.3	1.7	2.5	63.0
<i>Agave lechuguilla</i>	4.0	3.8	3.3	3.3	3.6	90.0
<i>Agave salmiana</i>	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	100
<i>Agave striata</i>	4.0	2.5	2.0	1.7	2.6	65.0
<i>Aloysia lycioides</i>	4.0	2.3	2.0	2.0	2.6	65.0
<i>Amelanchier denticulada</i>	4.0	4.0	3.0	3.0	3.5	88.0
<i>Brickellia veronicifolia</i>	4.0	3.8	3.3	3.3	3.6	90.0
<i>Bursera fagaroides</i>	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	100
<i>Calliandra eriophylla</i>	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	100
<i>Condalia mexicana</i>	4.0	3.3	3.3	3.0	3.4	85.0
<i>Chrysactinia mexicana</i>	4.0	1.8	1.3	1.3	2.1	53.0
<i>Dalea bicolor</i>	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	100
<i>Dasyllirion acrotriche</i>	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	100
<i>Dodonaea viscosa</i>	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	100
<i>Echinocereus conglomeratus</i>	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Eupatorium scorodonioides</i>	4.0	2.0	1.7	1.0	2.1	53.0
<i>Eysenhardtia polystachya</i>	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	100
<i>Ferocactus histrix</i>	4.0	2.8	2.7	2.3	3.0	75.0
<i>Ferocactus latispinus</i>	4.0	2.8	2.3	1.7	2.7	68.0
<i>Haplopappus venetus</i>	4.0	3.0	2.3	2.3	2.9	73.0
<i>Heliopsis longipes</i>	4.0	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Lycium barbinodum</i>	4.0	1.0	1.3	0.0	0.0	0.0
<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	100
<i>Opuntia streptacantha</i>	4.0	4.0	3.3	3.3	3.7	93.0
<i>Rhus microphylla</i>	4.0	1.8	1.3	1.0	2.0	50.0
<i>Senecio praecox</i>	4.0	2.3	1.6	1.3	1.8	45.0
<i>Sophora secundiflora</i>	4.0	2.0	1.3	1.0	2.0	50.0

Cuadro 12. Supervivencia media de veinte plantones de especies herbáceas en las cuatro parcelas de la geoforma ladera.

Especie	Supervivencia				\bar{X}	%
	2002	2003	2004	2005		
<i>Bothriochloa barbinodis</i>	20.0	13.0	9.3	7.0	12.3	62.0
<i>Bouteloua curtipendula</i>	20.0	14.8	10.3	7.3	13.1	66.0
<i>Bouteloua gracilis</i>	20.0	16.0	12.3	9.3	14.4	72.0
<i>Bouteloua repens</i>	20.0	9.3	6.0	3.7	9.8	49.0
<i>Coryphanta potosina</i>	20.0	6.3	3.0	1.0	7.6	38.0
<i>Echeveria agavoides</i>	20.0	6.8	3.3	2.7	8.2	41.0
<i>Mammillaria bocasana</i>	20.0	12.8	8.3	6.7	11.9	60.0
<i>Mammillaria magnimamma</i>	20.0	12.0	7.3	6.0	11.3	57.0
<i>Mammillaria uncinata</i>	20.0	12.3	8.0	6.7	11.8	59.0
<i>Panicum obtusum</i>	20.0	13.3	6.7	3.3	10.8	54.0
<i>Sedum</i> sp.	20.0	5.8	3.0	0.0	0.0	0.0
<i>Setaria macrostachya</i>	20.0	12.5	8.0	6.0	11.6	58.0

Algunos autores, como Cervantes *et al.* (2001) y Capó (2001), consideran como aceptables los niveles de supervivencia entre 50 y 75 %; sin embargo, es común que no se precise cuánto tiempo después de la plantación se esperarían dichos porcentajes. Así, se observó que para muchas especies la mortalidad fue nula durante el primer año, y que luego se fue incrementando gradualmente, como lo muestran las evaluaciones anuales sucesivas.

Los factores naturales más desfavorables para la repoblación experimental fueron la depredación por fauna silvestre (especialmente por las liebres), y las sequías que se registraron; sin embargo, ambos factores están muy relacionados entre sí. La precipitación media anual registrada en la estación meteorológica más cercana (Los Filtros, Cd. de San Luis Potosí) es de 355.6 mm. El promedio de los cinco años previos a la plantación fue de 352.4 mm, y en 2001, el año de localización de sitios para la ubicación de las parcelas experimentales, sólo se registró el 48 % de lo normal (169.6 mm) y en 2001 el año de la plantación fue el 77 % (273.6 mm).

Cuadro 13. Supervivencia media de cuatro plantones de especies arbóreas en las cuatro parcelas de la geoforma cañada.

Especie	Supervivencia					\bar{X}	%
	2002	2003	2004	2005			
<i>Acacia constricta</i>	4.0	2.3	1.5	1.5	2.3	58.0	
<i>Acacia farnesiana</i>	4.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
<i>Acacia schaffneri</i>	4.0	2.8	1.8	2.0	2.7	68.0	
<i>Carya ovata</i>	4.0	1.5	1.0	1.0	1.9	48.0	
<i>Cupressus arizonica</i>	4.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	
<i>Parkinsonia aculeata</i>	4.0	2.5	2.0	2.0	2.6	65.0	
<i>Persea americana</i>	4.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	
<i>Platanus mexicana</i>	4.0	1.8	1.0	0.0	0.0	0.0	
<i>Pinus cembroides</i>	4.0	2.8	2.5	2.5	3.0	75.0	
<i>Prosopis laevigata</i>	4.0	2.5	2.5	2.0	2.8	70.0	
<i>Prunus serotina</i>	4.0	1.5	1.0	1.0	1.9	48.0	
<i>Schinus molle</i>	4.0	2.8	2.3	2.3	2.9	73.0	
<i>Taxodium mucronatum</i>	4.0	2.3	1.8	1.5	2.4	60.0	

Cuadro 14. Supervivencia media de veintiséis plantones de especies arbustivas en las cuatro parcelas de la geoforma cañada.

Especie	Supervivencia				\bar{X}	%
	2002	2003	2004	2005		
<i>Amelanchier denticulada</i> *	5.0	5.0	2.3	1.5	3.5	70.0
<i>Brickellia veronicifolia</i>	26.0	14.5	9.5	9.0	14.8	57.0
<i>Bursera fagaroides</i>	26.0	9.0	6.0	4.0	11.3	43.5
<i>Dalea bicolor</i>	26.0	14.0	11.5	11.0	15.6	60.0
<i>Haplopappus venetus</i>	26.0	8.5	6.0	3.0	10.8	42.0
<i>Salix babylonica</i>	26.0	5.5	3.5	3.0	9.5	37.0
<i>Tecoma stans</i>	26.0	12.8	9.8	8.8	14.4	55.0

* Solamente se lograron plantar cinco plantones, debido a la falta de los mismos.

Cuadro 15. Supervivencia media de cuarenta plantones de especies herbáceas en las cuatro parcelas de la geoforma cañada.

Especie	Supervivencia				\bar{X}	%
	2002	2003	2004	2005		
<i>Bothriochloa barbinodis</i>	40.0	21.5	17.5	12.5	22.8	58.0
<i>Bouteloua curtipendula</i>	40.0	18.5	13.8	10.0	20.5	51.0
<i>Bouteloua gracilis</i>	40.0	20.0	17.0	16.5	23.4	59.0
<i>Bouteloua repens</i>	40.0	17.5	15.5	13.5	21.6	54.0
<i>Buchloë dactyloides</i>	40.0	28.0	22.0	20.0	27.5	68.8
<i>Panicum obtusum</i>	40.0	10.0	7.5	6.0	15.9	40.0
<i>Setaria macrostachya</i>	40.0	8.0	6.5	6.0	15.1	38.0
<i>Sporobolus airoides</i>	40.0	18.0	14.0	9.8	20.4	51.0

Así, la vegetación espontánea remanente estaba muy agotada y estresada, al igual que la fauna dependiente de ella, lo cual explica la depredación muy severa que sufrieron algunos plantones los dos primeros años, al grado de ser una causa probable de su mortalidad. Esto ocurrió a pesar de que se tomó la precaución de iniciar la plantación hasta finales de verano, cuando la fauna ya se hubiera recuperado de la estación seca y existiera mayor disponibilidad de alimento; así, los efectos de la sequía volvieron insuficiente esta previsión. Luego se presentaron tres años favorables (2002, 2003, y 2004), con un promedio de 480.8 mm, seguidos de otro año (2005) de sequía moderada con el 83 % (294.0 mm) de la precipitación media. Las precipitaciones muy favorables de 2003 y 2004 provocaron que la presa se llenara y que se tuvieron que liberar excedentes durante varias semanas, lo cual provocó la inundación de parcelas ya descrita, en las cuales por esta causa se incrementó la mortalidad que repercutió en la supervivencia media de todos los plantones de la cañada.

Aparte de los factores naturales desfavorables, también la plantación sufrió saqueos y vandalismo. Los robos se concentraron principalmente en las cactáceas y el vandalismo en los arbolitos y algunos arbustos, los cuales fueron mutilados a machetazos. También se robaron cuatro puertas y seis lonas plastificadas con información sobre el proyecto, lo cual era parte de cada parcela experimental.

Es posible que la inadaptación como causa principal de la mortalidad sólo sea atribuible a las especies arbóreas señaladas por su muerte antes de la segunda evaluación. Esto implicaría que sean especies tardías en la sucesión o poco tolerantes a las condiciones de deterioro extremo. Pero en todo caso parecen ser poco adecuadas para ser incluidas en la fase inicial de modelos de restauración.

Las especies con mortalidad mayor que 60 %, en general requieren ser estudiadas en forma más detallada para poder establecer y superar las causas de dicha mortalidad, como puede ser que sus plántones requieran mayor edad o mayor protección contra la radiación directa o contra la depredación, o simplemente que requieran las mejores condiciones hídricas, de fertilidad y de abrigo propias de los estadios maduros. Además, unas 50 especies en total de las tres formas vitales, no pudieron ser evaluadas en esta primera experiencia.

En el Cuadro 16 se muestran las 20 especies arbustivas que se plantaron a la vez en la loma y en la ladera; de ellas sólo *Rhus microphylla* tuvo una sobrevivencia menor que 50 %, y ocho presentaron sobrevivencia mayor que 90 %. En cuanto a las herbáceas, si se considera la pérdida por robo de plántones, la sobrevivencia de estas cactáceas fue muy satisfactorio. Con respecto a las especies que se plantaron simultáneamente en las tres geoformas (Cuadro 17), es destacable que en su totalidad (17) presentaran sobrevivencia media de los tres ambientes mayor que 50 %, a pesar de la defoliación severa sufrida por las gramíneas.

Finalmente, del total de 65 especies que conformaron el modelo general de restauración, 20 arbóreas, 29 arbustivas y 16 herbáceas, los plántones con sobrevivencia mayor que el 40 % correspondieron a 11 especies arbóreas, 28 especies arbustivas y 14 herbáceas. Este conjunto de 53 especies probadas puede conformar un modelo base para la restauración de las 344 ha que conforman toda el área de estudio, aunque posiblemente se requiera una segunda fase de restauración con propósitos de acelerar el arribo a la fase madura de la vegetación, y comenzar ya a monitorizar la repoblación natural de flora y fauna.

Cuadro 16. Supervivencia (%) de algunas especies repobladas experimentalmente en las geofomas más xéricas del Parque Urbano Paseo de la Presa de San José. S.L.P.

Espece	Loma	Ladera	Promedio
Arbustos			
<i>Agave filifera</i>	65.0	63.0	64.0
<i>Agave lechuguilla</i>	93.0	90.0	92.0
<i>Agave salmiana</i>	100.0	100.0	100.0
<i>Agave striata</i>	65.0	65.0	65.0
<i>Aloysia lycioides</i>	70.0	65.0	68.0
<i>Calliandra eriophylla</i>	80.0	100.0	90.0
<i>Condalia mexicana</i>	70.0	85.0	78.0
<i>Chrysactinia mexicana</i>	63.0	53.0	58.0
<i>Dalea bicolor</i>	100.0	100.0	100.0
<i>Dasyllirion acrotriche</i>	100.0	100.0	100.0
<i>Dodonaea viscosa</i>	100.0	100.0	100.0
<i>Eupatorium scorodonioides</i>	55.0	53.0	54.0
<i>Ferocactus histrix</i>	70.0	75.0	73.0
<i>Ferocactus latispinus</i>	73.0	68.0	71.0
<i>Haplopappus venetus</i>	58.0	73.0	66.0
<i>Myrtillocactus geometrizarans</i>	100.0	100.0	100.0
<i>Opuntia streptacantha</i>	93.0	93.0	93.0
<i>Rhus microphylla</i>	45.0	45.0	45.0
<i>Senecio praecox</i>	60.0	45.0	53.0
<i>Sophora secundiflora</i>	50.0	50.0	50.0
Herbáceas			
<i>Coryphanta potosina</i>	40.0	38.0	39.0
<i>Echeveria agavoides</i>	42.0	41.0	42.0
<i>Mammillaria bocasana</i>	56.0	60.0	58.0
<i>Mammillaria magnimamma</i>	52.0	57.0	55.0
<i>Mammillaria uncinata</i>	54.0	59.0	57.0

Cuadro 17. Supervivencia (%) de algunas especies repobladas experimentalmente en las tres geofomas del Parque Urbano Paseo de la Presa de San José. S.L.P.

Especie	Loma	Ladera	Cañada	Promedio
Árboles				
<i>Acacia constricta</i>	56.0	72.0	58.0	62.0
<i>Acacia schaffneri</i>	68.0	78.0	68.0	71.0
<i>Parkinsonia aculeata</i>	66.0	68.0	65.0	66.0
<i>Pinus cembroides</i>	98.0	96.0	75.0	90.0
<i>Prosopis laevigata</i>	64.0	70.0	70.0	68.0
<i>Schinus molle</i>	70.0	80.0	73.0	74.0
Arbustos				
<i>Amelanchier denticulada</i>	88.0	88.0	70.0	82.0
<i>Brickellia veronicifolia</i>	100	90.0	57.0	82.0
<i>Bursera fagaroides</i>	100	100	43.5	81.0
<i>Dalea bicolor</i>	100	100	60.0	87.0
<i>Haplopappus venetus</i>	58.0	73.0	42.0	58.0
Herbáceas				
<i>Bothriochloa barbinodis</i>	56.0	62.0	58.0	59.0
<i>Bouteloua curtipendula</i>	63.0	66.0	51.0	60.0
<i>Bouteloua gracilis</i>	69.0	72.0	59.0	67.0
<i>Bouteloua repens</i>	57.0	49.0	54.0	53.0
<i>Panicum obtusum</i>	57.0	54.0	40.0	50.0
<i>Setaria macrostachya</i>	55.0	58.0	38.0	50.0

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIÓN

Se probó que es factible restaurar áreas cerriles degradadas en ambientes secos templados, con lo cual se refuta la creencia de que lo único que se podía hacer en ellas era reforestaciones con unas cuantas especies arbóreas introducidas.

El modelo de restauración diseñado, en general, resultó satisfactorio, pues permitió reconocer el potencial de 11 especies arbóreas, 28 arbustivas y 14 herbáceas para iniciar la restauración ecológica del Parque Urbano “Paseo de la Presa de San José”.

La evaluación de especies silvestres con propósitos de restauración debe prolongarse por varios años después de establecidas, de manera que se pruebe su sobrevivencia a las fluctuaciones climáticas normales en el área de referencia.

En las fases iniciales de la restauración se deben excluir las especies propias de comunidades maduras o las ausentes en las áreas con perturbación moderada dentro de ellas.

La repoblación experimental del Parque debería continuarse y respaldarse económicamente, al menos otros 10 años, para generar los conocimientos que fundamenten su restauración integral; así, la ciudad de San Luis Potosí se destacaría en nivel nacional e internacional posiblemente como la primera en recuperar un espacio natural de estas dimensiones para sus ciudadanos.

8. LITERATURA CITADA

- Aguirre R., J. R. 1970. Estudio sobre el cardenche (*Opuntia imbricata* (Haw.) DC.) en la región ganadera del noroeste del estado de San Luis Potosí. Tesis profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. 62 p.
- Aldrete M., E. 1981. Estudio ecológico de los agostaderos del noreste del estado de Zacatecas. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 285 p.
- Allen, E. 2003. ¿Cuáles son los límites de la restauración de ecosistemas perturbados? Págs. 1-2. En: B., Rey; T. Espigares P.; J. M. Nicolau I. (Eds.). 2003. Restauración de ecosistemas mediterráneos. Asociación Española de Ecología Terrestre y Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares. España. 272 p.
- Anónimo. 1994 a. Inventario Nacional Forestal Periódico 1992-1994. Memoria Nacional. SARH. México. D.F. 18 p.
- Anónimo. 1994 b. Inventario Forestal Periódico del Estado de San Luis Potosí. SARH. México. D.F. 28 p.
- En: http://www.pnd.presidencia.gob.mx/pdf/2002/Pág._495-506.pdf
- Anónimo. 1996. Decreto Administrativo. Declaración de área natural protegida, bajo la modalidad de parque urbano, denominado “Paseo de la Presa”. Ubicado en la Presa de San José, en el municipio de la capital. Periódico Oficial del Estado de San Luis Potosí. San Luis Potosí, San Luis Potosí. 3 p.
- Anónimo. 1998. Diagnóstico de la deforestación en México. SEMARNAP. México. D.F. 29 p.
- Anónimo. 1999. Carta geológica F-14-A-4 1:50,000. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. México. D.F.
- Anónimo. 2001 a. Anuario Estadístico San Luis Potosí. INEGI. Aguascalientes. Aguascalientes. México.
- Anónimo. 2001 b. Estado actual de la cubierta vegetal en América Latina y el Caribe: Situaciones y Perspectivas. XIII Reunión del Foro de Ministros de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Río de Janeiro, Brasil. (En: <http://www.fao.org/docrep/meeting/x47025.htm>).
- Anónimo. 2002 a. Programa para el desarrollo de plantaciones forestales comerciales (PRODEPLAN). CONAFOR. México. 110 p.

- Anónimo. 2002 b. Protocolo Distrital de Restauración Ecológica-DAMA. Guía para la restauración de ecosistemas nativos en las áreas rurales de Bogotá. 217 p. (En: <http://www.dama.gov.co/publnew/publ.htm>).
- Anónimo. 2004-2005. Comisión Nacional Forestal. Programa Nacional para el Manejo de los Recursos Genéticos Forestales. Zapopán, Jalisco, México. (En: www.conafor.gob.mx)
- Arriaga M., V.; V. Cervantes G.; A. Vargas M. 1994. Manual de reforestación con especies nativas: colecta y preservación de semillas, propagación y manejo de plantas. SEDESOL, Instituto Nacional de Ecología y Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F. 186 p.
- Benítez G., G.; Ma. T. P. Pulido; M. Equihua. 2004. Árboles multiusos nativos de Veracruz para reforestación, restauración y plantaciones. Instituto de Ecología, A.C., SIGOLFO y CONAFOR. Xalapa, Veracruz. México. 288 p.
- Bradshaw, A.D. 1983. Ecological Restoration. 13: 479-511. En: Principles of Conservation Biology. Meffe, G., R. Carroll and contributors. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, Massachusetts. U.S.A.
- Calderón de R., G. 1957. Vegetación del valle de San Luis Potosí. Tesis profesional. ENCB, IPN. México, D.F. 101 p.
- Camacho A., H. 2001 Empresarios e ingenieros en la ciudad de San Luis Potosí: la construcción de la presa de San José 1869-1903. Editorial Ponciano Arriaga. Gobierno del Estado de San Luis Potosí. San Luis Potosí, S.L.P. México. 420 p.
- Capó, A., M. A. 2001. Establecimiento de plantaciones forestales: los integrantes de éxito. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. 207 p.
- Cervantes G., V.; M. López G.; N. Salas N.; G. Hernández C. 2001. Técnicas para propagar especies nativas de la selva baja caducifolia y criterios para establecer áreas de reforestación. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D.F. 174 p.
- Cetina A., V. 1997. Tres tipos de manejo en vivero de *Pinus gregii* Engelm. y su efecto en la calidad de planta. Tesis doctoral. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 73 p.
- Cony, M. A. 1995. Reforestación racional de zonas áridas y semiáridas con árboles de múltiples propósitos. *Interciencia* 20 (5): 249-253.
- De Zavala, M.; R. Zamora; F. Pulido; J. A. Blanco; J. Bosco I.; T. Marañón; F. Castillo; F. Valladares. 2004. Nuevas perspectivas en la conservación, restauración y gestión sostenible del bosque mediterráneo. En: F. Valladares (Eds.). 2004.

- Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Ministerio de Medio Ambiente y EGRAF. Madrid. Pp. 509-529.
- García E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 5ª Edición. Serie libros, No. 6. México, D.F.
- García S., F. 1999. Análisis florístico de las principales comunidades arbóreas de la sierra de Álvarez, San Luis Potosí. Tesis de maestría. Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, S.L.P. México. 115 p.
- Goor, A.Y.1964. Métodos de plantación forestal en zonas áridas. Cuadernos de Fomento Forestal No. 16. FAO. Roma, Italia. 265 p.
- Hartman, H.T.; D.E. Kester. 1988. Propagación de plantas. CECOSA. México. 760p.
- Landis, T.D. 1990. Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor. Volumen 2 (1):1-40 (Contenedores: tipos y funciones). En: T.D. Landis.; R.W. Tinus.; S.E. Mc.Donald.; J.P. Barnet (Eds.). The containers tree nursery manual. Agric. Handbk. 674. Forest Service. Department of Agricultura. Washington, DC: 2:1-40. (Traducción al español en: www.conafor.gob.mx/programas_nacionales_forestales/.../capitulo1.pdf)
- Luna M., C. del C.; J. R. Aguirre R. 2001. Aspectos estructurales de comunidades vegetales con pitayos (*Stenocereus* spp.) en la Mixteca Baja y el valle de Tehuacán, México. Revista Geográfica. 130: 115-129.
- MacKinnon, J.; MacKinnon K.; G. Child; J. Thorsell. 1990. Manejo de áreas protegidas en los trópicos. UICN/PNUMA. México, D.F. 314 p.
- Martínez de la V., G. 1995. La investigación faunística en el estado de San Luis Potosí. Tesis profesional. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, Aguascalientes México. 182 p.
- Martínez R., E. 1996. La restauración ecológica. Ciencias. 43:56-61.
- Martínez R., E. 2000. Restauración ecológica y biodiversidad. Biodiversitas. 28. En: www.conabio.gob.mx/institucion/conabio_espanol/doctos/restaura.html.
- Pedraza P., R. A. 2003. Árboles nativos para plantaciones: una estrategia de restauración en áreas deforestadas. Tesis Doctoral. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz. México 64 p.
- Pérez, F.; M. A.; J.M. Gómez G. 2003. Importancia e interpretación de la latencia y germinación de semillas en ambientes naturales. En: B., Rey; T. Espigares P.; J.

- M. Nicolau I. (Eds.). 2003. Restauración de ecosistemas mediterráneos. Asociación Española de Ecología Terrestre y Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares. España. pp. 87-112.
- Rebolledo V., A.; J. R. Aguirre R.; E. García M. 1980. Métodos de reproducción de plantas silvestres de interés económico. Avances en la Enseñanza y la Investigación. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. pp. 29-30.
- Red para el Desarrollo Sostenible de México, A.C. Universidad Autónoma Metropolitana. Región # 4. Evaluación de Impactos del "Programa para el Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales". Ejercicio Fiscal 2002. 87 p.
- Romero M., A. 1982. Estudio de tres leguminosas forrajeras arbustivas de los agostaderos del Altiplano Potosino-Zacatecano. Tesis profesional. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos. México. 254 p.
- Ruiz, B.I. 2002. Manual de reforestación para América tropical. Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. San Juan, Puerto Rico. 209 p.
- Rzedowski, J. 1960. La vegetación como indicador de rocas en la parte árida del estado de San Luis Potosí. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. 23 (2): 79-84.
- Rzedowski, J. 1961. Vegetación del estado de San Luis Potosí. Tesis doctoral. UNAM. México. 228 p.
- Rzedowski, J. 1968. Las principales zonas áridas de México y su vegetación. Bios. (Revista del Seminario de Estudios Biológicos). 1 (1): 4-24.
- Seoánes, M. 1998. Ingeniería medioambiental aplicada a la reconversión industrial y a la restauración de paisajes industriales degradados. Mundi-Prensa. Madrid, España. 478 p.
- Siguero Ll., P. 1999. Manual de reforestación con especies autóctonas. A.G. Gavilán. Madrid, España. 487 p.
- Sol S., A.; C. A. Zenteno R.; L. F. Zamora; E. Torres R. 2002. Modelo para la restauración ecológica de áreas alteradas. KUXULKAB'. (División Académica de Ciencias Biológicas, UJAT). 7 (14): 48-60.
- Vallejo, R.; J. Cortina.; A. Milagrosa.; J. P. Seva., J A. Alloza. 2003. Problemas y perspectivas de la utilización de leñosas autóctonas en la restauración forestal. En: B., Rey; T. Espigares P.; J. M. Nicolau I. (Eds.). 2003. Restauración de ecosistemas mediterráneos. Asociación Española de Ecología Terrestre y Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares. España. pp. 11-42.

- Vázquez Y., C. 1982. Deterioro ambiental: sus causas y sus efectos. CECSA. México. 59 p.
- Vázquez Y., C.; A. I. Batís M.; M. I. Alcocer S.; M. Gual D.; C. Sánchez D. 1999. Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Reporte Técnico del Proyecto J084. CONABIO e Instituto de Ecología, UNAM. México, D.F. En: <http://www.conabio.gob.mx/arboles/introd.-J084.html>
- Vázquez Y., C.; A. I. Batís. 1996. La restauración de la vegetación, árboles exóticos vs. árboles nativos. *Ciencias*. 43:16-23.
- Vázquez Y., C.; A. Orozco S. 1996. La destrucción de la naturaleza. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 68 pp.
- Vázquez Y., C.; A. Orozco; M. Rojas; M. Sánchez; V. Cervantes. 1997. La reproducción de las plantas: semillas y meristemas. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 123 p.
- Willan, R.L. 1991. Guía para la manipulación de semillas forestales. Cuadernos Técnicos No. 20. FAO. Roma, Italia. 345 p.
- Villar, S., P. 2003. Importancia de la calidad de planta en los proyectos de revegetación. En: B., Rey; T. Espigares P.; J. M. Nicolau I. (Eds.). 2003. Restauración de ecosistemas mediterráneos. Asociación Española de Ecología Terrestre y Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares. España. pp. 65-86.
- Windhager, S. 1999. Restauración ecológica y evolución. *Ciencia al Día*. 2 (4): 1-9. En: <http://www.ciencia.cl/CienciaAlDia/volumen2/numero4/articulos/articulo7.html>.
- Young, J.A.; C.G. Young. 1994. Seeds of woody plants in North America. Dioscorides. Portland, Oregon. USA. 407p.

APÉNDICE 1

Lista de especies nativas utilizadas en la restauración experimental en el área “Parque Urbano Paseo de la Presa”, San Luis Potosí, S.L.P.

- Acacia constricta* Benth. (Fabaceae)
Acacia farnesiana (L.) Willd. (Fabaceae)
Acacia schaffneri (S. Watson) F. J. Herm. (Fabaceae)
Agave filifera Salm-Dyck (Agavaceae)
Agave lechuguilla Torr. (Agavaceae)
Agave salmiana Otto ex Salm-Dyck (Agavaceae)
Agave striata Zucc. (Agavaceae)
Aloysia lycioides Cham. (Verbenaceae)
Amelanchier denticulada (Kunth) Koch (Rosaceae)
Atriplex canescens (Pursh) Nutt. (Chenopodiaceae)
Berberis trifoliolata Moric. (Berberidaceae)
Bothriochloa barbinodis (Lag.) Herter (Poaceae)
Bouteloua curtispindula (Michx.) Torr. (Poaceae)
Bouteloua gracilis (Willd. ex Kunth) Lag. ex Steud. (Poaceae)
Bouteloua repens (Kunth) Scribn. & Merr. (Poaceae)
Brickellia veronicifolia (Kunth) A. Gray (Asteraceae)
Buchloë dactyloides (Nutt.) Engelm. (Poaceae)
Bursera fagaroides Kunth (Burseraceae)
Calliandra eriophylla Benth. (Fabaceae)
Carya ovata (Mill.) K. Koch. (Juglandaceae)
Casimiroa pringlei (S. Watson) Engl. (Rutaceae)
Chrysactinia mexicana A. Gray (Asteraceae)
Condalia mexicana Schltdl. (Rhamnaceae)
Coryphanta potosina (Jacobi) Glass & Foster (Cactaceae)
Cupressus arizonica Greene (Cupressaceae)
Dalea bicolor Kunth (Fabaceae)
Dasyilirion acrotriche (Schiede) Zucc. (Agavaceae)
Dodonaea viscosa (L.) Jacq. (Sapindaceae)
Echeveria agavoides Nutt. (Crassulaceae)
Echinocereus conglomeratus Foster (Cactaceae)
Eupatorium scorodonioides A. Gray (Asteraceae)

Eysenhardtia polystachya (Ortega) Sarg. (Fabaceae)
Ferocactus histrix (DC.) G.E. Linds. (Cactaceae)
Ferocactus latispinus (Haw.) Britton. & Rose (Cactaceae)
Haplopappus venetus (Kunth) S.F. Blake (Asteraceae)
Heliopsis longipes (A. Gray) S.F. Blake (Asteraceae)
Juniperus flaccida Schltld. (Cupressaceae)
Leucaena leucocephala (Lam.) de Wit (Fabaceae)
Lycium barbinodum Miers (Solanaceae)
Mammillaria bocasana Poselg. (Cactaceae)
Mammillaria magnimamma Haw. (Cactaceae)
Mammillaria uncinata Zucc. ex Pfeiff. (Cactaceae)
Myrtillocactus geometrizans (C. Mart.) Console (Cactaceae)
Opuntia streptacantha Lem. (Cactaceae)
Panicum obtusum Kunth (Poaceae)
Parkinsonia aculeata L. (Fabaceae)
Parthenium argentatum A. Gray (Asteraceae)
Persea americana Mill. (Lauraceae)
Pinus cembroides Zucc. (Pinaceae)
Platanus mexicana Moric. (Platanaceae)
Prosopis laevigata (Willd.) M. C. Johnst. (Fabaceae)
Prunus serotina Ehrh. (Rosaceae)
Quercus castanea Née (Fagaceae)
Quercus coccolobiiifolia Trel. (Fagaceae)
Quercus crassifolia Humb. & Bonpl. (Fagaceae)
Rhus microphylla Engelm. (Anacardiaceae)
Salix babylonica L. (Salicaceae)
Schinus molle L. (Anacardiaceae)
Senecio praecox (Cav.) DC. (Asteraceae)
Setaria macrostachya Kunth (Poaceae)
Sophora secundiflora (Ortega) Lag. (Fabaceae)
Sporobolus airoides (Torr.) Torr. (Poaceae)
Taxodium mucronatum Ten. (Taxodiaceae)
Tecoma stans (L.) Kunth (Bignoniaceae)
Yucca decipiens Trel. (Agavaceae)

Yucca filifera Chabaud (Agavaceae)

APÉNDICE 2

Lista de especies nativas del modelo original que no pudieron ser probadas en la restauración experimental en el área “Parque Urbano Paseo de la Presa”,
San Luis Potosí, S.L.P.

- Arbutus xalapensis* Kunth (Ericaceae)
Arctostaphylos pungens Kunth (Ericaceae)
Bouteloua scorpioides Lag. (Poaceae)
Buddleja humboldtiana Roem & Schult. (Loganiaceae)
Carya illinoensis K.Koch (Juglandaceae)
Castela tortuosa Liebm. (Simaroubaceae)
Celtis pallida Torr. (Ulmaceae)
Crataegus mexicana Moc. & Sessé (Rosaceae)
Echeveria mucronata Schltdl. (Crassulaceae)
Echinocereus pectinatus Engelm. (Cactaceae)
Ephedra compacta Rose (Ephedraceae)
Euphorbia antisiphilitica J. Meyrán (Euphorbiaceae)
Flourensia cernua DC. (Asteraceae)
Gardoquia micromerioides Hemsl. (Lamiaceae)
Hilaria mutica Benth. (Poaceae)
Lippia berlandieri Schauer (Verbenaceae)
Menodora coulteri A.Gray (Oleaceae)
Opuntia leucotricha DC. (Cactaceae)
Opuntia robusta H.L.Wendl. (Cactaceae)
Phaseolus coccineus L. (Fabaceae)
Poppulus tremuloides Michx. (Salicaceae)
Quercus eduardii Trel. (Fagaceae)
Quercus microphylla Nee (Fagaceae)
Quercus potosina Trel. (Fagaceae)
Quercus resinosa Liebm. (Fagaceae)
Muhlenbergia repens (Presl) Hitchc. in Jeps. (Poaceae)
Turnera diffusa Willd. ex Schult. (Turneraceae)