

DEPARTAMENTO DE SUELOS

Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible
Programa de Maestría en Ciencias en Agroforestería para el
Desarrollo Sostenible

APLICACIÓN DEL MÉTODO NEZAHUALCÓYOTL EN UN SISTEMA SILVOPASTORIL DE LADERA, HUATUSCO VERACRUZ

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL
DESARROLLO SOSTENIBLE

PRESENTA:

LUIS QUINTO



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

Chapingo, Estado de México. Febrero de 2009.



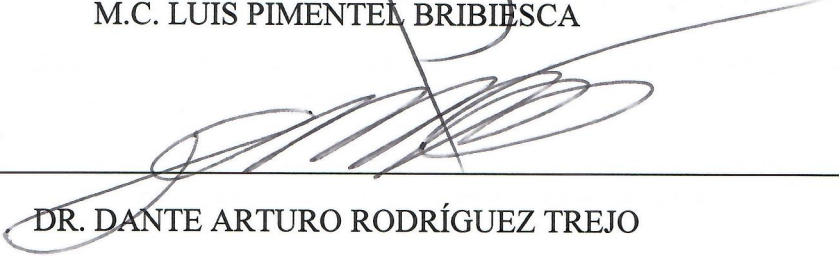
Tesis realizada por el **C. LUIS QUINTO**, bajo la dirección del Comité asesor indicado; aprobada y aceptada por el mismo, como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL
DESARROLLO SOSTENIBLE.**

DIRECTOR: _____


M.C. LUIS PIMENTEL BRIBIESCA

ASESOR: _____


DR. DANTE ARTURO RODRÍGUEZ TREJO

ASESOR: _____


DR. PEDRO ARTURO MARTÍNEZ HERNÁNDEZ

Chapingo, Texcoco Estado de México. Febrero de 2009.

AGRADECIMIENTOS

A Dios Todo Poderoso, por brindarme la oportunidad de lograr culminar, satisfactoriamente mis estudios de posgrado y expandir mis conocimientos.

A mi Padrino Isaac Mosquera, Familia Ramos Moreno, Sra. Marina Rosero; Sra. Timotea Pineda; Sra Nidia Lenée; Familia Agames; Sr. Melquíades Murillo, Sr Orlando Trejos y Sr. Samuel Pinilla, por sus valiosos apoyos y atinados consejos.

Al Dr. Ignacio Turner (hijo), Edwin Adames, Orlando Trejo y Eduardo Paz. Por brindarme su amistad, y estar muy al pendiente de mi familia.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT) – Instituto para la Formación y Aprovechamiento de Recursos Humanos (IFARHU), por sus financiamientos en mis estudios de posgrado.

A la Universidad Nacional de Panamá (Extensión Darién) y al Ministerio de Educación (I.P.T. Capira) por permitirme capacitarme y lograr ser un agente de cambio.

Al M.C. Luis Pimentel Bribiesca, quien como orientador y maestro de enseñanza aportó los conocimientos y directrices pertinentes en el presente trabajo.

Al Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo y al Dr. Pedro Arturo Martínez Hernández por sus valiosas asesoría, voluntad, paciencia y disposición en el presente trabajo.

A la Lic. Dolores Coronel, por ejercer sus funciones y brindarme el apoyo oportuno, dentro de la coordinación de agroforestería para hacer posible mi estadía como estudiante en la Universidad Autónoma Chapingo.

Al Dr. Jorge A. Torres, por su especial calidad humana y sus aportes en conocimientos como maestro.

A mis compañeras y amigas, Teresa Monroy Gutiérrez y Estrella Montes de Oca por su incondicional apoyo.

A la Universidad Autónoma Chapingo, por capacitarme y lograr formarme, como agente de cambio en el ámbito Agroforestal.

DEDICATORIA

A mi querida y respetada madre: María Quinto Martínez, por sus sacrificios, amor, enseñanza y apoyo económico que siempre me ha brindado. Dios la Proteja, bendiga e ilumine, para que logre la felicidad plena.

Mamá te amo.

A mis preciadas y amadas hijas: Dixiana Ginette Quinto Monterrey, Luisiana Mariam Quinto Rosero y Seyance Tairé Quinto Monterrey, que el sacrificio y distanciamiento hayan servido, para que Dios me brinde la oportunidad de concederles felicidad y mejor calidad de vida. Son mi razón de vivir. Dios las bendiga, las guíe y guarde.

A mis sobrinos y sobrinas: Harlin Joel Blandón Murillo, Juan Ricardo Quinto Mina, Luis Carlos Quinto Mina, Arlenis Blandón Murillo, María Quinto Mina, Carlenis Quinto Mina y Darlenis Blandón Murillo. Los y las quiero mucho. Que Dios los y las guíe, para que sean hombres y mujeres de bien.

A mi esposa Javiela Isabel Monterrey Monterrey, por su apoyo incondicional, dedicación, paciencia, sacrificio y cuidar de nuestras hijas. Mil gracias. Que Dios te bendiga y proteja.

A mis hermanos: Harlin Quinto y Víctor Emilio Blandón, por ser hombres de bien y cuidar de la familia. Dios los recompense.

A los hombres y mujeres con honradez, que velan y luchan por la justicia; a los y las que tienen sentido de pertenencia por la naturaleza, protegiendo, conservando y manejando el campo. Por la naturaleza, que nos brinda bienes y servicios para subsistir.

*En Memoria de mi hermano, Juan Carlos Quinto, que Dios lo tenga en la gloria.
Paz a su alma.*

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xv
SUMMARY	xv
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
2.1. <i>Objetivos Generales</i>	4
2.2. <i>Objetivos Particulares</i>	4
3. HIPÓTESIS	5
4. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
4.1. <i>Método Nezahualcóyotl</i>	6
4.1.1. Definición e importancia del Método Nezahualcóyotl	8
4.1.2. Potencialidades del Método Nezahualcóyotl	9
4.1.2.1. Ventajas del Método Nezahualcóyotl.....	9
a) <i>Incorporación nutrimental</i>	9
b) <i>Conservación de suelos</i>	10
b.1.) <i>Zanjas Nezahualcóyotl</i>	11
b.2.) <i>Control del escurrimiento superficial</i>	12
b.3.) <i>Control de la erosión del suelo</i>	13
b.4.) <i>Restauración de la fertilidad del suelo</i>	14
4.1.2.2. Desventajas del Método Nezahualcóyotl	14
4.2. <i>Sistemas Agroforestales</i>	14
4.2.1. Definición e importancia de los sistemas agroforestales	15
4.2.2. Características fundamentales de los sistemas agroforestales	16
4.2.2.1. Árboles de uso múltiple.....	16
4.2.2.2. Sostenibilidad	16
4.2.2.3. Multidisciplinaridad.....	17
4.2.3. Clasificación de los sistemas agroforestales	17
4.2.3.1. Sistemas agroforestales secuenciales.....	18
a) <i>Agricultura migratoria</i>	18
b) <i>Sistema Taungya</i>	19
4.2.3.2. Sistemas agroforestales simultáneos	20

a) Árboles en asociación con cultivos perennes.....	20
b) Árboles en asociación con cultivos anuales.....	21
c) Huertos familiares mixtos.....	23
d) Sistemas agrosilvopastoriles.....	24
e) Cercas vivas y cortinas rompevientos.....	24
f) Cortinas rompevientos.....	25
4.2.3.3. Sistemas silvopastoriles.....	26
4.2.3.4. Plantaciones en línea.....	26
4.3. Especies empleadas en el Método Nezhualcóyotl.....	27
4.3.1. <i>Swietenia macrophylla</i> King	27
4.3.1.1. Fructificación.....	27
a) Frutos.....	27
b) Semillas.....	28
4.3.1.2. Tratamiento pregerminativo	28
4.3.1.3. Establecimiento de la plantación	29
4.3.1.4. Selección del sitio	29
4.3.1.5. Preparación del terreno	29
4.3.1.6. Método de plantación.....	30
4.3.1.7. Época de plantación	30
4.3.1.8. Densidad y espaciamiento de plantación.....	31
4.3.1.9. Apertura de cepas.....	31
4.3.1.10. Utilización en sistemas agroforestales.....	31
4.3.2. <i>Tabebuia rosea</i> (Bertol) DC.....	32
a) Frutos.....	32
b) Semillas.....	33
4.3.2.1. Tratamiento pregerminativo	33
4.3.2.2. Establecimiento de la plantación	33
4.3.2.3. Preparación del terreno	34
4.3.2.4. Época de plantación	35
4.3.2.5. Densidad y espaciamiento de plantación.....	35
4.3.2.6. Apertura de cepas.....	36
4.3.2.7. Utilización en sistemas agroforestales.....	36
a) Cercas vivas.....	36
b) Cortinas rompevientos.....	37
c) Sombra.....	37
4.3.3. <i>Cedrela odorata</i> L.....	37
a) Fructificación.....	37
b) Frutos.....	38

c) <i>Semillas</i>	38
4.3.3.1. Tratamiento pregerminativo	38
4.3.3.2. Establecimiento de la plantación	39
4.3.3.3. Selección del sitio	39
4.3.3.4. Preparación del terreno	39
4.3.3.5. Método de plantación.....	40
4.3.3.6. Época de plantación	41
4.3.3.7. Densidad y espaciamiento de plantación.....	41
4.3.3.8. Apertura de cepas.....	41
4.3.3.9. Utilización en sistemas agroforestales.....	42
4.4. <i>Agua de coco</i>	43
4.4.1. Propiedades nutritivas y composición química del agua de coco.....	44
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	46
5.1. <i>Descripción del área de estudio</i>	46
5.1.1. Localización del sitio de estudio	46
5.1.2. Caracterización ecológica del sitio de estudio.....	47
5.1.2.1. Clima.....	47
a) <i>Climograma</i>	47
5.1.2.2. Hidrología	48
5.1.2.3. Fisiografía	48
a) <i>Relieve</i>	48
5.1.2.4. Suelos.....	48
5.1.2.5. Vegetación.....	49
5.2. <i>Estudio previo de las especies</i>	49
5.2.1. Características físicas	49
a) <i>Pureza</i>	50
b) <i>Peso</i>	50
c) <i>Contenido de humedad</i>	51
d) <i>Viabilidad</i>	51
e) <i>Prueba de germinación</i>	52
e.1.) Germinación en ambiente controlado.....	52
e.2.) Germinación a temperatura ambiente con tratamiento pregerminativo.	54
5.2.2. Análisis de datos	56
5.2.3. Producción de planta en vivero	57
5.2.3.1. Trasplante.....	58
5.2.3.2. Media sombra	59

5.2.3.3. Prevención de enfermedades	59
5.2.3.4. Labores culturales.....	59
a) <i>Riego</i>	59
b) <i>Deshierbes</i>	60
5.3. <i>Actividades para establecer el módulo con el Método</i> <i>Nezahualcóyotl</i>	60
5.3.1. Preparación del terreno.....	60
5.3.1.1. Cerca perimetral	60
5.3.2. Arreglo topológico y distribución de los componentes.....	61
5.3.2.1. Interlineado	62
5.3.2.2. Intralineado	63
5.3.2.3. Época de plantación	64
5.3.2.4. Tamaño y edad de las plantas.....	64
5.3.2.5. Plantación	65
5.3.3. Manejo del componente arbóreo.....	67
5.3.3.1. Control, prevención y mantenimiento post-cultivos.....	67
5.3.3.2. Replantación.....	68
5.3.3.3. Registro y evaluación de la supervivencia de las tres especies en estudio.....	68
5.3.4. Área ganadera del módulo silvopastoril en una hectárea.....	69
a) <i>Reemplazo del pasto nativo</i>	69
a.1) <i>Implantación y densidad de siembra del maíz y pasto</i> <i>Brachiaria brizantha</i>	69
5.3.4.1. Esquema de explotación de la pradera.....	70
a) <i>Método de pastoreo rotativo</i>	70
b) <i>Tipo y número de animales a usar en el área ganadera</i>	72
5.3.4.2. Manejo del hato ganadero	73
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	75
6.1. <i>Características físicas</i>	75
a) <i>Peso</i>	75
b) <i>Pureza</i>	75
c) <i>Contenido de humedad</i>	75
d) <i>Viabilidad</i>	76
e) <i>Germinación de las semillas</i>	76
e.1.) <i>Prueba de germinación en cámara de ambiente</i> <i>controlado</i>	76

e.2.) Prueba de germinación por especie a temperatura ambiente.	78
6.2. Comparación de germinación de semillas en las tres especies a temperatura ambiente y en cámara de ambiente controlado	80
6.3. Porcentaje de mortalidad de las plantas, por especie, en el vivero	81
6.4. Porcentaje de supervivencia de plantas en campo.....	82
6.5. Altura promedio de plantas en campo	83
6.6. Área ganadera del módulo silvopastoril	85
6.7. Costos de establecimiento del Método Nezahualcóyotl en el sistema silvopastoril de ladera.....	86
7. CONCLUSIONES.....	90
8. LITERATURA CITADA	91
9. APÉNDICE	100

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
Cuadro 1.	Valor nutritivo del agua de coco.....	44
Cuadro 2.	Número de repeticiones y total de semillas evaluadas por especie arbórea en cámara de ambiente controlado.....	53
Cuadro 3.	Tratamiento, repeticiones y total de semillas en cada tratamiento a temperatura ambiente.....	54
Cuadro 4.	Resultado del análisis de suelo utilizado como sustrato en el llenado de bolsas para el trasplante de plantas en vivero.....	57
Cuadro 5.	Proporción de materiales para el llenado de bolsas por cada especie.....	58
Cuadro 6.	Número de plantas trasplantadas por especie en vivero.....	58
Cuadro 7.	Descripción de los componentes del Método Nezahualcóyotl en un sistema silvopastoril caoba-roble-cedro rojo-pasto (<i>Paspalum convexum</i>) conforme su arreglo espacial y temporalidad.....	62
Cuadro 8.	Número de plantas por especie plantadas en el módulo donde se estableció el Método Nezahualcóyotl.....	63
Cuadro 9.	Altura promedio de las especies seleccionadas para la plantación.....	65
Cuadro 10.	Peso de las semillas de las tres especies en estudio.....	75
Cuadro 11.	Porcentaje de pureza en las tres especies en estudio.....	75
Cuadro 12.	Contenido de humedad de semillas en las tres especies.....	76
Cuadro 13.	Prueba de viabilidad de 100 semillas por especie mediante	

	el método de tinción con sal de tetrazolio al 1 %.....	76
Cuadro 14.	Porcentaje de germinación de las especies arbóreas en cámara de ambiente controlado con 28/24 °C día/noche y 12 h luz.....	77
Cuadro 15.	Porcentaje de germinación de las especies en estudio según el tratamiento de inmersión.....	79
Cuadro 16.	Porcentaje de mortalidad en vivero de las especies estudiadas.....	81
Cuadro 17.	Porcentaje de supervivencia de plantas por especie, a cuatro meses de plantadas.....	82
Cuadro 18.	Altura promedio de las plantas por especie, después de cuatro meses de plantadas.....	83
Cuadro 19.	Calendario de actividades y magnitud de insumos para el área ganadera del módulo silvopastoril en el Método Nezahualcóyotl.....	86
Cuadro 20.	Calendario de actividades de los componentes en el Método Nezahualcóyotl en un sistema silvopastoril en 1/3ha.....	88
Cuadro 21.	Egresos del Método Nezahualcóyotl en un sistema de ladera en 1/3 de hectárea.....	89
Cuadro 22.	Análisis de varianza del porcentaje de germinación de semillas en la caoba.....	100
Cuadro 23.	Análisis de varianza del porcentaje de germinación en las semillas de roble.....	100
Cuadro 24.	Análisis de varianza del porcentaje de germinación en las semillas de cedro rojo.....	100
Cuadro 25.	Análisis de varianza del porcentaje de germinación de semillas en ambiente controlado.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
Figura 1.	Método Nezahualcóyotl en asociación de árboles con pastos en ladera.....	7
Figura 2.	Método Nezahualcóyotl en asociación de árboles con cultivos agrícolas intercalados en ladera.....	8
Figura 3.	Clasificación de sistemas agroforestales en función de los componentes que los conforman.....	18
Figura 4.	Esquema que representa un sistema agroforestal de árboles con cultivos perennes.....	21
Figura 5.	Esquema de un sistema agroforestal de árboles asociados con cultivos anuales (cultivo en callejones).....	22
Figura 6.	Esquema de cultivo en callejones sembrados en ladera.....	23
Figura 7.	Representación esquemática de una finca con cercas vivas.....	25
Figura 8.	Mapa de una finca con cortinas rompevientos.....	26
Figura 9.	Semilla de <i>Swietenia macrophylla</i> King (a) y sus respectivas alas (b).....	28
Figura 10.	Características típicas de las semillas de <i>Tabebuia Rosea</i> (Bertol) DC.....	33
Figura 11.	Características de las semillas de la especie <i>Cedrela odorata</i> L.....	38
Figura 12.	Ubicación geográfica del sitio de estudio en Huatusco,	

	Veracruz.....	46
Figura 13.	Climograma de la estación Huatusco de Chicuellar, con datos de 1971-2000.....	47
Figura 14.	Cámara de ambiente controlado marca Conviron, a un régimen de temperatura diaria de 28/24 °C día/noche y 12 h de luz.....	53
Figura 15.	Lámina que ilustra los tratamientos pregerminativos: T ₁ agua de coco tierno, T ₂ agua de coco socato, T ₃ agua de coco seco y T ₄ agua destilada.....	55
Figura 16.	Forma de esterilizar el tezontle en autoclave vertical, protegido en bolsa de polipropileno.....	55
Figura 17.	Producción de plantas en vivero: a) <i>Swietenia macrophylla</i> King, b) <i>Tabebuia rosea</i> (Bertol) DC y c) <i>Cedrela odorata</i> L.....	57
Figura 18.	Vista del sitio experimental antes (a) y después (b) de la preparación.....	60
Figura 19.	Arreglo topológico del Método Nezahualcóyotl en un sistema silvopastoril.....	61
Figura 20.	Panorámica del interlineado para el establecimiento de un sistema silvopastoril en ladera por el Método Nezahualcóyotl.....	62
Figura 21.	Ilustración que trata de mostrar el intralineado de la plantación.....	64
Figura 22.	Aperturas de cepas para la plantación.....	66
Figura 23.	Aspecto de las especies plantadas en una ladera con dominancia de pasto.....	66
Figura 24.	Diseño del Método Nezahualcóyotl en asociación de	

	los componentes, utilizando el maíz para eliminar el pasto existente.....	70
Figura 25.	Plano del módulo con el Método Nezahualcóyotl que muestra las franjas de pastoreo para establecer un sistema silvopastoril en ladera.....	71
Figura 26.	Tipo de bedero para el consumo de agua por los animales.....	74
Figura 27.	Germinación acumulada de las especies arbóreas en cámara de ambiente controlado con régimen de temperatura de 28/24 °C día/noche y fotoperiodo de 12h.....	77
Figura 28.	Gráfica que muestra los porcentajes de germinación obtenidos de las tres especies en estudio.....	80
Figura 29.	Germinación en tres especies arbóreas con semillas tratadas por inmersión y a temperatura ambiente, y semillas en cámara de ambiente controlado con temperatura 28/24 °C (día/noche).....	81
Figura 30.	Mortalidad de plantas trasplantadas en el vivero.....	82
Figura 31.	Porcentaje de supervivencia de las plantas por especie, en el campo a cuatro meses de plantadas.....	83
Figura 32.	Altura promedio de las plantas en el campo.....	84
Figura 33.	Gráfica del incremento en cm de las plantas por especie, después de cuatro meses de ser plantadas en el campo.....	84

APLICACIÓN DEL MÉTODO NEZAHUALCÓYOTL EN UN SISTEMA SILVOPASTORIL DE LADERA, HUATUSCO VERACRUZ

Application of the Nezahualcoyotl method in a silvo-pastoral system in Huatusco, Veracruz

Quinto, L.; Pimentel-Bribiesca, L.

RESUMEN

El estudio describe la implementación del Método Nezahualcáyotl para un manejo sustentable de un ecosistema de ladera. El componente árbol fue: *Swietenia macrophylla* King (caoba), *Tabebuia rosea* (Bertol) DC. (roble) y *Cedrela odorata* L. (cedro rojo); y el herbáceo pasto *Paspalum convexum*. Se determinó humedad, pureza, viabilidad y germinación de las semillas de los árboles. En germinación se comparó la inmersión y exposición a temperatura ambiente y controlada (26 °C). Los tratamientos a las semillas fueron sin y con inmersión en agua (destilada o de coco a tres niveles de maduración). A temperatura ambiente, la germinación fue máxima con inmersión en agua de coco tierno: 40.3, 31.7 y 30.7 % para caoba, roble y cedro, respectivamente, y para las dos últimas también en agua destilada: 31.7 y 32.0 %. A 26 °C la germinación fue: 76, 37.7 y 54 % en el mismo orden por especie. En el terreno se trazaron cinco curvas a nivel separadas 7-8 m y de 80-87 m de largo, sobre las cuales se plantaron cada 4 m e intercalados por especie los arbolitos provenientes del vivero, dando 20 a 22 arbolitos por curva. La supervivencia en campo fue: 80, 93.48 y 80.77 % en caoba, roble y cedro, respectivamente. El cedro mostró el mejor comportamiento inicial. Además del costo de plantación se determinó el costo de introducir *Brachiaria brizantha* y bovinos para media ceba. El costo total inicial del sistema fue \$42 671.51, queda a futuro la evaluación del comportamiento de cada componente.

Palabras clave: Agua de coco, Método Nezahualcáyotl, sistema silvopastoril, ecosistema suelo, caoba, roble, cedro rojo.

SUMMARY

This study describes the implementation of the Nezahualcáyotl method for sustainable management of a hillside ecosystem. The tree component was *Swietenia macrophylla* King (Big leaf mahogany, Brazilian mahogany, Honduras mahogany, Large-leaved mahogany, Sky fruit, Tropical American mahogany), *Tabebuia rosea* (Bertol) DC. (Pink poui, Rosy trumpet tree) and *Cedrela odorata* L. (Spanish cedar, Mexican cedar, Cigar-box cedar), and the herbaceous grass *Paspalum convexum*. Humidity, purity, viability and germination of the seeds from these trees were determined. For seed germination, submersion and exposure to room and controlled temperature (26 °C) were compared. The seeds were without submersion and submersion in water (distilled water or coconut water at three stages of maturity). Maximum germination was at room temperature with submersion in young coconut water; 40.3, 31.7 and 30.7 % for mahogany, rosy trumpet tree and cedar respectively and for the last two in distilled water; 31.7 and 32.0 %. At 26 °C germination was 76, 37.7 and 54 % in the same order for each species. Five curves were traced on the terrain at separation levels of 7–8 m wide and 80–87 m long, in which trees were planted at every 4 m and interspersed with nursery species, producing 20 to 22 trees per curve. The survival rate within each field was 80, 93.48 and 80.77 % for mahogany, rosy trumpet and cedar respectively. The cedar trees showed the best initial behavior. In addition to the plantation cost, the cost of introducing *Brachiaria brizantha* and cattle for fattening was determined. The total initial cost of the system was \$42,671.51, and the behavior of each component remains to be evaluated in the future.

Key words: coconut water, Nezahualcáyotl Method, silvo-pastoral system, soil ecosystem, mahogany, pink trumpet tree, cedar.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los retos mayores que enfrenta el hombre en esta era tecnológica, es el conservar y preservar la biodiversidad y los ecosistemas que configuran la biosfera. La clave para afrontarlo es hacer un uso sostenible de los recursos naturales.

Al suelo se le considera como el cuerpo dinámico natural que ocupa la superficie de la tierra. Está compuesto por materia orgánica, minerales y organismos que sirven de sustrato para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Las características del suelo varían constantemente en función del clima, el material parental, la topografía, los organismos y el manejo.

En las zonas de ladera, caracterizadas por pendientes de leves a pronunciadas, la protección del suelo es de particular importancia. Los sistemas de producción inapropiados para las condiciones de ladera han causado impactos negativos importantes sobre el suelo. Esto no sólo deteriora la capacidad productiva de los mismos, sino que afecta a los cuerpos de agua por incremento de la turbidez y sedimentación; pero además, puede llevar a procesos de desertificación.

Debido a que sobre el suelo se sustenta la producción de las plantas, es obvio que la conservación de este recurso es fundamental para sostener los sistemas productivos agropecuarios, en especial los que dependen del pastoreo. De igual manera, el impacto que los sistemas productivos causan sobre el suelo es

determinante para la sostenibilidad en el mediano y largo plazo de la actividad productiva.

Por estas razones, surge la necesidad de implementar técnicas que garanticen la conservación y recuperación del ecosistema suelo, principalmente en ladera, permitiendo un uso más eficaz y sostenible.

El Sistema o Método Nezahualcóyotl es un método de preparación del terreno que surge, como una técnica de producción, en combinación con el sistema agroforestal en ladera, que se establece sin mayores dificultades, permitiendo intercalar y asociar los componentes que conforman un sistema agroforestal, ocupando eficientemente el espacio vertical y horizontal, hecho que asegura la cobertura del suelo y evita su pérdida por erosión, mejora la calidad del suelo; además de permitir mayor captación de agua de lluvia, diversifica la productividad del sitio, favorece el desarrollo económico y social del productor, en donde su nivel de exigencia es cada vez mayor en lo que a calidad de vida se refiere, lo cual permite mantener una relación armoniosa hombre - naturaleza.

El principal componente que interviene en este método son los árboles en asociación con otros cultivos; por ello es importante buscar alternativas que puedan aumentar el porcentaje de germinación de las semillas de estas especies, a través de tratamiento pregerminativo para mantener el recurso genético, ya sea en su hábitat natural, regiones similares o con ciertas diferencias ambientales.

Entonces se puede afirmar que el Método Nezahualcóyotl es una alternativa innovadora de conservación de suelo en ladera, que puede llegar a realizar cambios tangibles y reales en el campo, de forma adecuada e integral cubriendo todos los procesos y aspectos del sistema de conservación y producción sostenible del ecosistema suelo bajo condiciones adversas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivos Generales

- Evaluar el tratamiento pregerminativo con agua de coco a diferente tiempo de maduración en semillas de *Swietenia macrophylla* King, *Tabebuia rosea* (Bertol) DC. y *Cedrela odorata* L., sobre el porcentaje de germinación.
- Contribuir cognoscitivamente al diseño y aplicación del Método Nezahualcóyotl, en un sistema agroforestal de ladera.

2.2. Objetivos Particulares

- Describir la morfología de las semillas de *Swietenia macrophylla* King, *Tabebuia rosea* (Bertol) DC y *Cedrela odorata* L., así como sus características de peso, pureza, contenido de humedad, viabilidad y germinación.
- Promover la adopción del Método Nezahualcóyotl, en un sistema agroforestal, como nuevo modelo de producción en ladera.

3. HIPÓTESIS

- a) El empleo de agua de coco, en las semillas de *Swietenia macrophylla* King, *Tabebuia rosea* (Bertol) DC. y *Cedrela odorata* L., incrementa el porcentaje de germinación de estas especies.

- b) El Método Nezahualcóyotl, en combinación con otros sistemas agroforestales, es un nuevo modelo de producción, que puede ser adoptado por muchos productores para diversificar la producción de manera continua en terrenos con pendientes elevadas, constituyéndose en una opción económica del productor en armonía con el ambiente.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Método Nezahualcóyotl

Pimentel (1987) afirma que este método de preparación del terreno, es sin duda, el más antiguo de los practicados en México, el nombre es en honor del famoso rey legítimo texcocano, quien lo usó para cultivar en las faldas del cerro Tezcotzinco, donde aún existen las terrazas mandadas hacer por él, como testigos de la bondad del método.

Su construcción es la inversa del Sistema Trinchera; dado que las zanjas se construyen igual (siguiendo las curvas de nivel), pero la tierra producto de la excavación, se coloca por el lado de arriba, para con ella formar un bordo similar, donde se pueden plantar árboles forestales o bien frutales, e inclusive, nopales o magueyes.

El método es magnífico para cultivos combinados (agroforestería), dado que la construcción del bordo siguiendo la curva a nivel obliga al agricultor a surcar en contorno, obteniendo así, mayor captación del agua de lluvia.

Por otro lado, las erosiones producidas a través de los años son retenidas por el bordo, que en este caso es continuo, propiciando la construcción de una terraza de formación paulatina. El proceso se acelera cuando se barbecha de abajo hacia arriba para ir volteando la tierra siempre hacia abajo. Además, la tierra que se acumula en las zanjas como producto de la erosión de los bordos

se vuelve a colocar sobre los mismos, hasta que la sucesión vegetal o inducción artificial los cubra de pasto.

Es importante aclarar, que las zanjas están intercomunicadas a un nivel más bajo que el terreno natural, a fin de eficientar la distribución del agua; evitando con ello posibles derrames en alguna de ellas.

Desafortunadamente, a este método no se le ha dado la difusión requerida, pero es ideal para la producción de árboles de navidad a nivel parcelario, lo que permitiría mayores entradas para los campesinos, pensando en ciclos cortos (más o menos seis años), además de servir como cortinas rompevientos (Figura 1). Compréndase que el sombreado sería mínimo, por la altura en que se cortarían los árboles. Para plantaciones forestales típicas, no es recomendable, ya que la captación de agua, en comparación con la trinchera o gradoni, es inferior.



Figura 1. Método Nezahualcóyotl en asociación de árboles con pastos en ladera

4.1.1. Definición e importancia del Método Nezahualcóyotl

Es una técnica de producción, principalmente de plantación de árboles en cultivos intercalados, a través del tiempo y el espacio, en terrenos de ladera, manteniendo la sostenibilidad del recurso suelo, y propiciando la eficiencia y calidad, lo cual contribuye a diversificar y optimizar la productividad de los componentes que en él interactúan.

Al Método Nezahualcóyotl (Figura 2) también se le conoce como un sistema y práctica de producción en ladera que combina o integra diferentes componentes en una misma unidad de terreno, que puede ser derivado de la agroforestería, cuyo objetivo es el de recuperar y conservar el suelo, en calidad y eficiencia, proporcionando así, los bienes y servicios de manera sostenida.

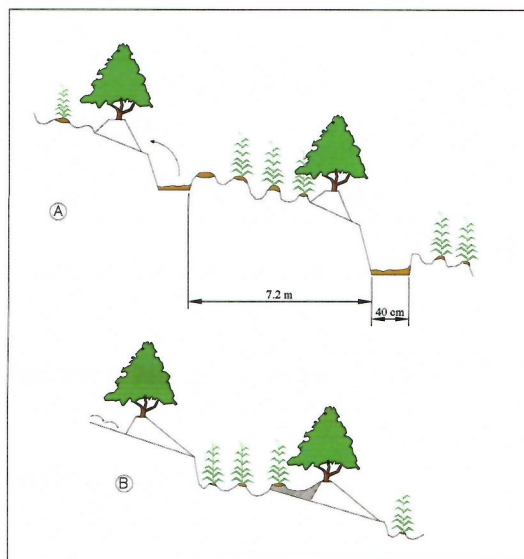


Figura 2. Método Nezahualcóyotl en asociación de árboles con cultivos agrícolas intercalados en ladera.

El Método Nezahualcóyotl es una técnica de uso y preparación del suelo de ladera, enfocado a la restauración o recuperación, manejo y producción de este

ecosistema. Consiste en plantar árboles con cultivos intercalados, cuyo objetivo es el de garantizar la producción permanente, además de diversificarla, proporcionando al productor un ambiente social, económico y ambiental, más satisfactorio y sostenible.

Su importancia radica, en que es un método muy efectivo en el control de la erosión de terrenos de ladera compatible con la producción de cultivos arbóreos, agrícolas y el componente animal, además de considerársele como la práctica más antigua de preparación del terreno utilizada en México, principalmente en terrenos de pendientes pronunciadas.

4.1.2. Potencialidades del Método Nezhualcóyotl

Las características del suelo varían constantemente en función del clima, el material parental, la topografía, los organismos y el manejo, por lo que el sistema Nezhualcóyotl contribuye a través de las plantaciones de árboles en cultivos intercalados a que haya una interacción positiva entre los componentes presentes brindando producción y beneficios.

4.1.2.1. Ventajas del Método Nezhualcóyotl

a) Incorporación nutrimental

Los árboles poseen la capacidad de fijar el nitrógeno de la atmósfera a través de una simbiosis de microorganismos (bacterias u hongos) presentes en los nódulos de las raíces (y algunas veces en los tallos), aumentando de esta manera el nitrógeno en el suelo mediante el abono verde, resultante de la

hojarasca, podas que se realizan como manejo y otros desechos, que se acumulan en el suelo, mediante los nódulos y raíces proporcionando nutrimentos y materia orgánica a este ecosistema.

b) Conservación de suelos

Las especies leñosas plantadas a lo largo de los contornos actúan como una estructura física, reduciendo así la erosión del suelo, el escurrimiento del agua y captando mayor cantidad de agua de lluvia. Smith y Whitt (1948) citados por Johnson (1987) consideraron que el objetivo fundamental de la conservación de suelos es el mantenimiento de su fertilidad, para sostener una producción de cultivos indefinidamente.

Nair (1997) enuncia los efectos benéficos y adversos que algunos autores atribuyen a los árboles sobre el suelo y por consiguiente a los cultivos. Efectos benéficos de los árboles sobre el suelo:

- Mantenimiento o aumento de la materia orgánica que contribuye a conservar y mejorar la fertilidad de los suelos.
- Fijación de nitrógeno a través de especies leguminosas.
- Reducción de la velocidad del viento.
- Reducción de la erosión.
- Recuperación de nutrimentos, los sistemas raíz-árbol interceptan, absorben y reciclan nutrimentos de los horizontes más profundos del suelo y en consecuencia de la porosidad y retención de humedad.

- Reducción de la acidez, los árboles tienden a moderar los efectos de la lixiviación mediante la adición de bases a la superficie del suelo.
- La sombra que proporcionan los árboles tienden a moderar los efectos de la irradiación solar sobre el suelo, contribuyendo así a la reducción de la pérdida de materia orgánica por oxidación, lo que aumenta la actividad biológica del suelo. Asimismo, la cubierta de hojarasca y otros desechos reducen las altas temperaturas de la superficie del suelo.

Efectos adversos de los árboles sobre el suelo:

- Pérdida de materia orgánica y nutrimentos en la cosecha de árboles, principalmente cuando se hace una cosecha completa.
- Competencia por nutrimentos y agua entre árboles y cultivos.
- Producción de sustancias que inhiben la germinación o el crecimiento.

b.1.) Zanjas Nezahualcóyotl

Sirven para retener el agua, reducir la erosión en terrenos con pendientes e incorporar nutrimentos, producto de los desprendimientos de materiales de árboles, residuos de cultivos y depósito de excremento de los animales. La disposición de las zanjas se construye a lo largo de la ladera, de manera tal que sigan las curvas de nivel del terreno y queden perpendiculares al flujo del agua de lluvia. La tierra excavada de la zanja, se coloca por el lado de arriba formando un bordo similar, en donde se planta vegetación permanente con

raíces profundas tales como árboles forestales, frutales para estabilizar el suelo.

También se pueden sembrar cultivos combinados, debido a que la construcción del bordo siguiendo la curva a nivel, obliga a surcar en contorno, además sirve para retener agua y sedimentos reduciendo la erosión y aumentando la infiltración y captación de agua pluvial. Las zanjas están intercomunicadas a un nivel más bajo que el terreno natural, a fin de eficientar la distribución del agua, evitando con ello posibles derrames en algunas de ellas.

Propósitos: Disminuir la velocidad del agua pluvial, promover la infiltración, reducir la migración de contaminantes que afectan la calidad del agua de los ríos, incorporar nutrimentos al suelo y mejorar la producción de los cultivos al ayudar a conservar el agua de lluvia en el suelo.

b.2.) Control del escurrimiento superficial

El escurrimiento representa la cantidad de agua de lluvia que cae sobre la superficie del suelo, pero que no puede infiltrar. Se considera escurrimiento superficial al agua que viaja sobre la superficie del suelo durante un evento de lluvia hacia el canal más cercano. El escurrimiento ocurre cuando la tasa de precipitación excede la tasa de infiltración del suelo (Redmon, 1999). Esto quiere decir, que las partículas delgadas que se desprenden por acción de la gota de lluvia sellan la superficie del suelo tapando los microporos, con lo que disminuye la tasa de infiltración e incrementa el escurrimiento del agua en el

suelo. La cantidad relativa de escurrimientos están determinados directamente con las características de la vegetación.

El sistema Nezhualcóyotl, producto de la formación de bordos de tierra aguas arriba, a través de la inducción o introducción permite la formación y desarrollo vegetativo en el ecosistema suelo, evitando con ello que las gotas de lluvia que chocan contra la vegetación pierdan fuerza y se disipen, y no haya impacto directo sobre la superficie del suelo, siendo interceptada parte del agua por la vegetación y evaporándose a la atmósfera, el resto escurre o fluye por los tallos de gramíneas y ramas de arbustos hacia el suelo.

En caso que los escurrimientos tuvieran lugar, las hojas desprendidas y que forman un Mulch, impiden y reducen la velocidad del agua corriente, así como el bordo aguas arriba, disminuyen o contrarrestan la velocidad del agua en laderas y las raíces consolidan el suelo.

b.3.) Control de la erosión del suelo

El Método Nezhualcóyotl ofrece un gran potencial como práctica y técnica adecuada para combatir y controlar la erosión del suelo, específicamente en tierras de laderas donde la magnitud de pérdida del suelo es muy elevada, producto del escurrimiento de las aguas pluviales, y que una vez ya establecidos los árboles estos contribuyen a la recuperación del ecosistema suelo y en muchas ocasiones a mantenerlo por su sistema radical.

b.4.) Restauración de la fertilidad del suelo

El suelo provee ancla y soporte para las plantas, las cuales extraen agua y nutrimentos del mismo. Estos nutrimentos están devueltos al suelo por la acción de los organismos del suelo sobre las plantas muertas o en vía de morirse y la materia de origen animal.

El Sistema Nezhualcóyotl con el establecimiento y desarrollo de la vegetación leñosa y herbácea con potencial para crecer en zonas profundamente alteradas, permite con el tiempo la recuperación y restauración de la fertilidad del ecosistema suelo mediante la incorporación de materiales, residuos vegetativos y desechos de animales producto de la descomposición.

4.1.2.2. Desventajas del Método Nezhualcóyotl

- 1) Demanda significativa de mano de obra, debido a que es un trabajo arduo y que requiere de tiempo.
- 2) Recuperación lenta del suelo y su fertilidad.

4.2. Sistemas Agroforestales

La creciente presión sobre el suelo debido a la explotación demográfica registrada en muchos lugares del trópico puede conducir a la degradación del mismo, disminuir el rendimiento de los cultivos e incrementar la invasión de hierbas difíciles de controlar. Una de las alternativas para frenar este proceso es la explotación de la tierra a través del manejo de sistemas agroforestales o agroforestería. Los sistemas agroforestales son una forma de uso de la tierra en

donde plantas leñosas perennes interactúan biológicamente en un área con cultivos y/o animales; el propósito fundamental es diversificar y optimizar la producción para un manejo sostenido.

4.2.1. Definición e importancia de los sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales son formas de uso y manejo de los recursos naturales en los cuales, especies leñosas (árboles y arbustos) son utilizados en asociación deliberada con cultivos agrícolas y con animales, en un arreglo espacial (topológico) o cronológico (en el tiempo) en rotación con ambos; existen interacciones ecológicas y económicas entre los árboles y los demás componentes de manera simultánea o temporal, de forma secuencial, que son compatibles con las condiciones socioculturales para mejorar las condiciones de vida de la región. Torquebiau (1993) lo define como un conjunto de componentes agroforestales interdependientes (árboles con cultivos y/o animales) representando un tipo común de uso de tierra en cierta región.

Las formas de producción agroforestales son aplicables tanto en ecosistemas frágiles como estables, a escala de campo agrícola, finca, región, a nivel de subsistencia o comerciales. El objetivo es diversificar la producción, controlar la agricultura migratoria, aumentar el nivel de materia orgánica en el suelo, fijar el nitrógeno atmosférico, reciclar nutrientes, modificar el microclima y optimizar la producción del sistema respetando el principio de sistema sostenido. El interés por este tipo de sistemas se debe a la necesidad de encontrar mejores

opciones para los problemas de baja producción y degradación de la tierra de los trópicos.

4.2.2. Características fundamentales de los sistemas agroforestales

4.2.2.1. Árboles de uso múltiple

En todo sistema agroforestal siempre está presente el componente arbóreo, para ello es recomendable establecer árboles multiusos o de propósito múltiple. Budowski (1987) definió este concepto de la siguiente manera: un árbol de uso múltiple es uno que en adición a los productos y servicios normalmente esperados como madera, influencias microclimáticas, mejoramiento del suelo, adición de materia orgánica, proporciona productos y servicios adicionales importantes tales como fijación de nitrógeno, forraje, productos comestibles para humanos, gomas, fibras y productos medicinales.

4.2.2.2. Sostenibilidad

La sostenibilidad de un sistema de producción rural corresponde a su capacidad para satisfacer las necesidades de la humanidad, sin afectar y de ser posible mejorar el recurso base del que depende el sistema (Torquebiau, 1990). Dependiendo del tipo de agricultura a utilizar por los agricultores, desde el punto de vista socioeconómico se considera sostenible si cumple con los siguientes requerimientos:

- 1) Satisfacer las necesidades energéticas de los agricultores;
- 2) Satisfacer las necesidades de subsistencia de los agricultores, para que puedan asegurar una dieta balanceada y adecuada;

- 3) Fortalecer los vínculos de solidaridad entre los miembros de la comunidad local.

La agroforestería se considera como un manejo sostenible de la tierra que incrementa su rendimiento integral, combina la producción de cultivos (incluidos cultivos arbóreos) y plantas forestales y/ o animales, simultáneos o secuencialmente en la misma unidad de tierra (Torquebiau, 1990).

4.2.2.3. Multidisciplinaridad

Debido a su carácter integral, sobresale el aspecto multidisciplinario de la Agroforestería, la cual como ciencia involucra tres disciplinas básicas: la silvicultura, la agronomía y la ganadería. La idea es combinar los diferentes componentes para alcanzar un sistema de manejo que toma en cuenta los requerimientos de cada componente, mientras asegura una producción óptima (Musálem, 2001).

4.2.3. Clasificación de los sistemas agroforestales

La clasificación de los sistemas agroforestales toma en cuenta los componentes que los conforman y la distribución que tienen estos en el tiempo y en el espacio. De acuerdo a los tipos de combinaciones de los componentes que los conforman, los sistemas se clasifican en tres tipos: 1) Sistemas agroforestales o silvoagrícolas, 2) Sistemas agrosilvopastoriles y 3) Sistemas silvopastoriles (Figura 3).

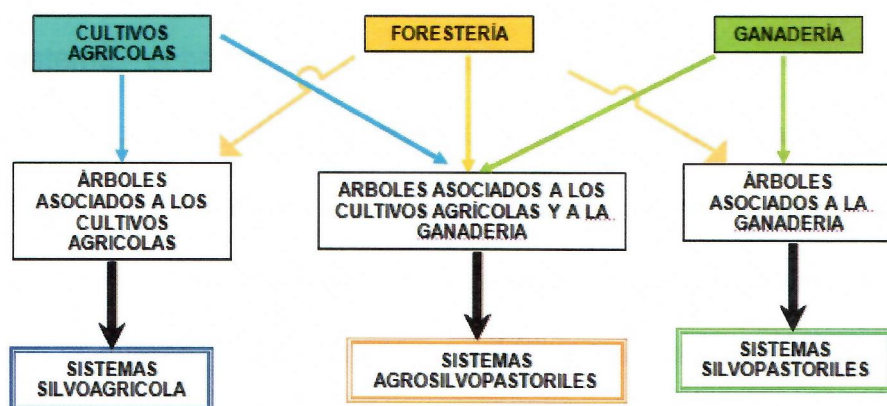


Figura 3. Clasificación de sistemas agroforestales en función de los componentes que los conforman.

Fuente. SEMARNAT.

En relación al tiempo y espacio, los sistemas agroforestales se clasifican en: 1) Sistemas agroforestales secuenciales, 2) Sistemas agroforestales simultáneos y 3) Cercas vivas y cortinas rompe viento. A continuación se describen los sistemas agroforestales que más se practican (López-Tecpoyotl, 1992).

4.2.3.1. Sistemas agroforestales secuenciales

En estos sistema existe una relación cronológica entre las cosechas anuales y los productos arbóreos, es decir que los cultivos anuales y las plantaciones se suceden en el tiempo; esta categoría incluye formas de agricultura migratoria con la intervención o manejo de barbechos, y los sistemas Taungya (López-Tecpoyotl, 1992).

a) *Agricultura migratoria*. Comprende sistemas de subsistencia orientadas a satisfacer las necesidades básicas de alimentos, combustible y habitación. Solo ocasionalmente considera la fuente de ingresos por medio de la venta de los excedentes de los productos.

En este sistema, el bosque se corta y se quema, la tierra se cultiva por pocos años; luego del período de cultivo continúa una fase de descanso; el período de descanso es de 5 a 20 años y 2 a 3 años de cultivo. Esto considera rotación de tierras más que de cultivos. Inicialmente, la productividad del cultivo es elevada, ya que con la quema, los nutrimentos se incorporan al suelo, baja la acidez y aumenta la fertilidad del suelo. Después de 2 a 3 años de cultivo, aumenta la población de plagas y malezas y la demanda de nutrimentos, reduciendo la productividad. Se practica en condiciones en que la mano de obra es más escasa que la tierra, el capital generalmente es escaso y el nivel tecnológico bajo.

b) Sistema Taungya. Es un método que permite el establecimiento de plantaciones forestales de manera simultánea con cultivos aunque estos últimos son temporales; el follaje de los árboles se desarrolla hasta impedir el crecimiento de los cultivos y una vez que el componente forestal es retirado, se vuelven a establecer cultivos.

En este sistema, la obtención de madera es la meta final, pero los ingresos a corto plazo que se obtienen son motivantes para los agricultores. Las ventajas que se tienen con este sistema son: ahorrar costos de establecimiento de las plantaciones forestales y obtener de ingresos o beneficios por concepto de cosechas.

Dentro de sus desventajas están el no obtener beneficios inmediatos por venta de productos forestales, el uso y manejo de la tierra están determinados por las necesidades de la plantación y no por las necesidades que tienen los productores; el diseño de las plantaciones no siempre es el adecuado y la presencia de árboles impide la utilización de maquinaria para los cultivos (López-Tecpoyotl, 1992).

4.2.3.2. Sistemas agroforestales simultáneos

Consisten en la integración simultánea y continua de cultivos anuales y perennes, árboles maderables, frutales o de uso múltiple, y/o ganadería, es aplicable a los huertos caseros mixtos, en contraste con los sistemas agroforestales secuenciales que pueden irse enriqueciéndose mediante una interacción cronológica. En los sistemas agroforestales simultáneos (con interacción directa) los componentes agrícolas y arbóreos se encuentran en el mismo terreno durante toda la duración del sistema (CATIE, 1986), y tienen las variantes:

a) Árboles en asociación con cultivos perennes. Este sistema diversifica la producción y aumenta la productividad a través de algunas interacciones con el componente arbóreo. Se consideran los sistemas de explotación comercial de cocotero, hule, árboles maderables o frutales con café o cacao (Figura 4).



Figura 4. Esquema que representa un sistema agroforestal de árboles con cultivos perennes.

Fuente. SEMARNAT.

Este sistema tiene los siguientes Objetivos:

- 1) Producción de sombra para ciertos cultivos comerciales como el cacao,
- 2) Contar con cosechas a través del tiempo,
- 3) Mejorar la calidad del producto,
- 4) Diversificar la producción y reducir riesgos económicos.

Los árboles que se utilizan son principalmente especies maderables, árboles de sombra y palmas; por ejemplo especies de los siguientes géneros: *Bactris*, *Bracatinga*, *Cedrela*, *Diphysa*, *Erythrina*, *Inga*, *Persea* y *Spondias* (López-Tecpoyotl, 1992).

b) *Árboles en asociación con cultivos anuales.* Este sistema, también llamado cultivo en callejones, consiste en la asociación de árboles o arbustos (generalmente fijadores de nitrógeno) intercalados en franjas con cultivos anuales. Los árboles y/o arbustos se podan para evitar la el sombreado excesivo de los cultivos; los residuos se utilizan como abonos verdes

para mejorar la fertilidad y cuando son palatables, como forrajes. (Figura 5).

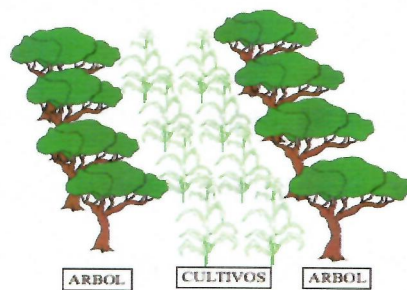


Figura 5. Esquema de un sistema agroforestal de árboles asociados con cultivos anuales (cultivo en callejones).

Fuente. SEMARNAT.

Dentro de las especies de árboles recomendadas para Alfisoles y Utisoles están: chicharo gandal (*Cajanus sp*), cacahuananche (*Gliricida sp.*) y huaxin (*Leucaena spp*) las cuales se siembran con maíz, yuca o arroz. Spondias (López-Tecpoyotl, 1992). Según el autor citado, algunas de las ventajas que se tienen en este tipo de sistemas son:

- 1) diversificación de la producción,
- 2) regeneración de la fertilidad del suelo sobre todo con especies fijadoras de nitrógeno,
- 3) se requieren menos insumos externos,
- 4) mejora el reciclaje de nutrimentos,
- 5) se hace un uso intensivo de la tierra,
- 6) aumenta la productividad por unidad de área, y
- 7) reduce los riesgos económicos mediante la diversificación de la producción.

Uno de los mayores potenciales que se tiene con este tipo de sistemas es en zonas de ladera. La siembra o plantación de árboles en hileras perpendiculares a la pendiente, contribuyen a disminuir la erosión (Figura 6).

Dentro de las desventajas en estos sistemas, se tienen:

- 1) competencia de agua y nutrimentos entre árboles y cultivos,
- 2) el espacio que utilizan los árboles disminuye el rendimiento de cultivos,
- 3) alto costo de mano de obra para su establecimiento (López-Tecpoyotl, 1992).

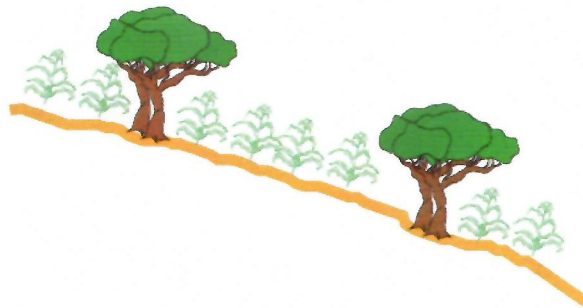


Figura 6. Esquema de cultivo en callejones sembrados en ladera.

Fuente. SEMARNAT.

c) *Huertos familiares mixtos*. Son prácticas agroforestales muy antiguas, para cubrir las necesidades básicas de familias o comunidades pequeñas y ocasionalmente se venden algunos excedentes de producción. Presentan múltiples cultivos (zapote, palma, plátano, mango, huaxin (*Leucaena*), yuca, calabaza, guayaba, coco, papaya, etc.) y algunas veces animales.

Son sistemas con baja reutilidad económica y tienen constante capacidad de egresos para el consumo. Dependen mucho de la mano de obra familiar, son apropiadas para subsistencia; se parecen a los ecosistemas naturales, y desde el punto de vista económico, son viables debido a la diversificación de sus productos (López-Tecpoyotl, 1992).

d) *Sistemas agrosilvopastoriles*. Dentro de este tipo de sistema se incluyen: árboles con pastura, pastura en bosques de regeneración natural, árboles forrajeros, plantaciones agrícolas (cocotero, hule, frutales) con cultivos y forrajes (López-Tecpoyotl, 1992).

e) *Cercas vivas y cortinas rompevientos*. Se llaman cercas vivas a las plantaciones en líneas de árboles y arbustos en los límites de las parcelas, cuyo objetivo principal es impedir el paso de los animales que impida salir del potrero o entrar a la parcela cultivada, inclusive la gente. También se emplean para delimitar una propiedad, cuyos elementos pueden proporcionar productos adicionales como: forrajes, leña, madera, flores para abejas, frutos, postes y plantas medicinales (Figura 7) Dentro de las especies arbóreas que más se utilizan para este tipo de sistemas tenemos los siguientes cocoite (*Gliricidia sepium*), huaxin (*Leucaena leucocephala*), y colorín (*Eritrina poeppigiana*) (López-Tecpoyotl, 1992).

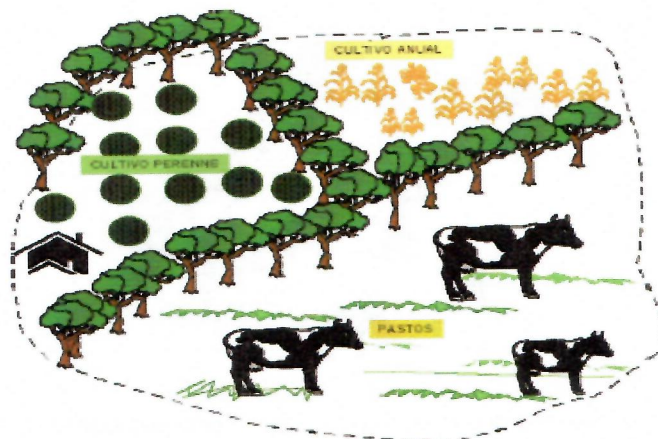


Figura 7. Representación esquemática de una finca con cercas vivas.

Fuente. SEMARNAT.

f) *Cortinas rompevientos*. Las cortinas rompevientos son plantaciones en líneas con el objetivo principal de proteger las parcelas cultivadas, pastos y animales contra los efectos nocivos del viento

Las ventajas consisten en mantener el clima más estable y mayor producción en los cultivos y animales. Dentro de lo negativo encontramos que la sombra excesiva al lado de los árboles disminuye la productividad de los cultivos. Las cortinas rompevientos favorecen la formación de remolinos de vientos dañinos. Se diferencian de las cercas vivas por tener al menos tres hileras de árboles para su efectividad en el amortiguamiento de la velocidad de los vientos (Figura 8) (López-Tecpoyotl, 1992).

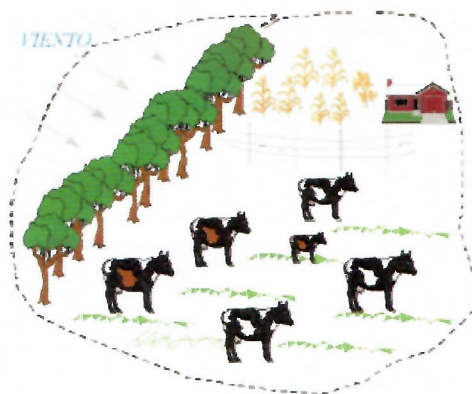


Figura 8. Mapa de una finca con cortinas rompevientos.

Fuente. SEMARNAT.

4.2.3.3. Sistemas silvopastoriles

Son asociaciones de árboles maderables o frutales combinados con animales; pueden tener o no la presencia de cultivos. Su utilización puede ser practicada a diferentes niveles, como es el caso de las grandes plantaciones forestales comerciales con inclusiones de ganado, a fin de aprovechar las plantas forrajeras y eliminar la competencia a la vegetación arbórea.

4.2.3.4. Plantaciones en línea

La mezcla de árboles, cultivos y/o animales pueden tomar muchos modelos y formas, desde los surcos alternos de cultivos y árboles podados para cercos, hasta animales pastando a bajo de los árboles. Entre las técnicas relacionadas con la agricultura y la ganadería, principalmente para proteger a los cultivos y/o al ganado se han desarrollado las cortinas rompevientos y los cercos vivos (Musálem, 2001).

4.3. Especies empleadas en el Método Nezahualcóyotl

Descripción de las especies: *Swietenia macrophylla* King, *Tabebuia rosea* (Bertol) DC. y *Cedrela odorata* L., utilizadas en el experimento de semillas, para el establecimiento del método Nezahualcóyotl en sistemas silvopastoriles de ladera.

4.3.1. *Swietenia macrophylla* King

Pertenece a la familia de las Meliaceae, existen tres especies distribuidas mundialmente: *Swietenia mahogani* (L) Jacq., *Swietenia humilis* Zucc y *Swietenia macrophylla* King, según Barrosa-Cárdenas *et al.* (1992).

4.3.1.1. Fructificación

La edad de fructificación, es a los 15 años y algunas veces antes. Son frecuentes los años de fructificación. A esta edad el árbol puede producir 250 frutos, con un peso unitario de aproximadamente 400 Kg. Los años de fructificación son frecuentes. Los frutos maduran de noviembre a enero; por lo que las semillas se pueden obtener desde finales de enero y prolongarse hasta principios de marzo (CONABIO, 2001).

a) *Frutos*. Cápsulas leñosas de 12 a 18 cm de largo por 8 cm de ancho, ovoides u oblongas, con dehiscencia basal septicida; color moreno rojizo (grisáceo en ocasiones) miden entre 8 cm y 15 cm de largo y 6 cm a 9 cm de diámetro. Los frutos maduran de noviembre a enero. La recolección de los frutos se realiza durante los meses de enero a marzo (Pennington y Sarukhán, 1998).

b) *Semillas*. La semilla es alada, sumamente amarga, astringente y muy liviana. Cada fruto contiene entre 40 y 45 semillas de color café rojizo, miden (incluyendo el ala) entre 4.5 y 8.5 cm de largo y de 1.2 a 1.5 cm de ancho (Figura 9). La parte seminal está situada hacia la base de la cápsula y mide entre 1.4 cm y 1.8 cm de largo y de 6 mm a 8 mm de ancho (Lamprecht, 1990).

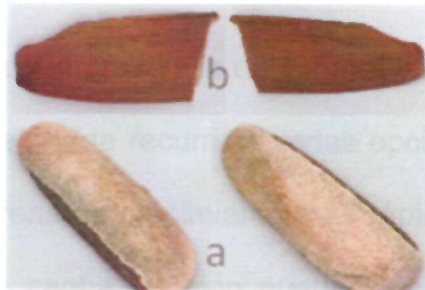


Figura 9. Semilla de *Swietenia macrophylla* King (a) y sus respectivas alas (b).

4.3.1.2. Tratamiento pregerminativo

El tratamiento más utilizado consiste en sumergir las semillas en agua a temperatura ambiente, durante 24 o 48 horas, antes de su siembra (RED MEXICANA DE GERMOPLASMA FORESTAL, 1999). Pero para que el tratamiento pregerminativo tenga efecto, es necesaria la actividad en simática hidrolizando las sustancias de reservas mismas que debe ser traslocadas para que pueda realizarse las síntesis de nuevas sustancias, propiciando la división celular, con el consecuente aumento en el tamaño de las semillas y ruptura de la testa. Está claro que si la semilla no encuentra una cama de germinación con suficiente humedad, aireación, etc., difícilmente germinará adecuadamente; por lo que se sugiere que si no existe un medio adecuado óptimo, se dé el tratamiento que más se requiera (Escoto-Prado, 1996).

4.3.1.3. Establecimiento de la plantación

Aunque se han establecido plantaciones en varios países a espaciamientos de 2-3 m entre árboles las plantaciones puras generalmente no son recomendables en esta especie, especialmente en áreas donde se esperan ataques severos del barrenador del tallo *Hypsipylla grandella* Zeller.

Existen evidencias de que la presencia de sombra lateral reduce el daño de la plaga, de manera que se puede recurrir a varias opciones, entre ellas: mezcla con otras especies arbóreas de crecimiento más rápido por ejemplo leucaena, eucalipto entre otros. La caoba también puede establecerse en combinación con cultivos agrícolas anuales o perennes: café, cacao, a espaciamientos amplios de hasta 15x15m, dependiendo del cultivo y los objetivos (OFI-CATIE, 2008).

4.3.1.4. Selección del sitio

Al seleccionar el sitio de la plantación para la caoba, es importante considerar que el suelo reúna buenas condiciones. Los fluvisoles son los más apropiados para el desarrollo de la especie, aunque también responden satisfactoriamente a los Acrisoles de sabana, considerándose factibles para el establecimiento de plantaciones comerciales (Barrosa-Cárdenas *et al.*, 1992).

4.3.1.5. Preparación del terreno

La preparación del terreno debe depender de la topografía existente en el sitio: Plana, ondulada o escarpada. En terrenos con pendientes superiores al 10 %,

se requiere trazar curvas a nivel, con equidistancias variables, según las necesidades. Barrosa-Cárdenas *et al.*, (1992) recomiendan sean de 2.5 a 3.0 m, considerando la densidad de siembra deseada o para la plantación

4.3.1.6. Método de plantación

El sitio de plantación debe estar previamente preparado con el método o sistema que se adecue a las características de terreno. En ocasiones basta una pala recta para abrir los hoyos con las características dimensionales, según las condiciones texturales del suelo y los tamaños de las especies a plantar. En ocasiones basta un hoyo (Cepa Común) de 40x40x40 cm. Se debe tener cuidado de que el cuello de la raíz no quede fuera del suelo, ni muy enterrado, de lo contrario puede causar retraso en su crecimiento. En terrenos planos las cepas se pueden hacer con un gusano accionado por la toma de fuerza de un tractor (Barrosa-Cárdenas *et al.*, 1992).

4.3.1.7. Época de plantación

Se tienen definidas dos épocas de plantación, las cuales se realizan al inicio de las lluvias: Una en los meses de junio o julio (lluvias de verano) y la otra de noviembre a enero (temporada de nortes). La más adecuada es la segunda época, que es cuando se presenta temperaturas más bajas, que evitan la deshidratación de la planta (Barrosa-Cárdenas *et al.*, 1992).

4.3.1.8. Densidad y espaciamiento de plantación

Normalmente, la densidad inicial de la plantación de Caoba uniespecífica o asociada con otras especies, es de 1000 a 1100 plantas por hectárea de todas las especies elegidas; esta densidad es práctica, ya que permite realizar actividades de mantenimiento, con un espacio adecuado para el desarrollo de la especie. Si se plantan intercaladas otras especies, disminuye el número de Caobas por unidad de área, pero el espaciamiento sigue siendo de 3 x 3 m entre plantas e hileras, es decir 1100 plantas totales por hectárea (Barrosa-Cárdenas *et al.*, 1992).

4.3.1.9. Apertura de cepas

El tamaño de las cepas dependerá de las dimensiones del envase que se haya utilizado para la producción de las plantas. Esto implica que las cepas deberán realizarse con 3 a 5 unidades de volumen adicional al tamaño del cepellón de la planta; no obstante, dependiendo de las condiciones del terreno las dimensiones y tipo de cepas podrán variar, esto en función de las estrategias de conservación de suelo que se deseen emplear, de las características del suelo, y de las condiciones climáticas (CONABIO, 2001).

4.3.1.10. Utilización en sistemas agroforestales

La Caoba es especialmente adecuada para plantaciones de enriquecimiento en franjas, en trochas y en superficies completas, para plantaciones agroforestales en Java con maíz y tapioca, así como forestaciones en mezclas con otras especies como: *Tectona grandis* en India; *Eucalyptus platyphylla* y *Artocarpus*

integrifolia, en Java. También han sido exitosas plantaciones bajo un vuelo protector preliminar; por ejemplo *Albizzia falcataria* (Lamprecht., 1990).

Para evaluar el comportamiento en sistemas agroforestales, Sosa-Jarquín (1997) realizó una evaluación de cedro y caoba, encontrando que el cedro es de más rápido crecimiento, tanto en altura como en diámetro, pero la caoba mostró un mayor porcentaje de sobrevivencia y mejor desarrollo en plantaciones mixtas, en suelos Ya'ax-hom y con buen manejo.

La caoba, tiene potencial para usarse en cultivos y callejones forrajeros de estratos múltiples, así como en barbechos mejorados. Es común encontrarla en los huertos familiares mayas en Yucatán, la cual se utiliza para dar sombra en cafetales. Algunas veces se planta en asociación con *Tectona grandis* o *Tabebuia pentaphylla* o con el sistema "taungya" (CONABIO 2001).

4.3.2. *Tabebuia rosea* (Bertol) DC.

A la *Tabebuia rosea* se le conoce con el nombre de maculís, en el sureste de México. Es una especie arbórea de la familia *Bignoniaceae*, siendo un árbol originario de América y principalmente de las regiones tropicales. Presenta las siguientes características:

a) *Frutos*. El fruto es una cápsula dehiscente de forma cilíndrico linear y estrecha, de 22 a 38 cm de largo por 0.9-1.5 cm de diámetro; lisas, con dos suturas laterales, pendulozas de color pardo oscuras, cubiertas por numerosas

escamas y sólo observables con lupa, con el cáliz persistente (CONABIO, 2001).

b) Semillas. Sus semillas son numerosas, aladas, aplanadas, membranosas, de 2-3 cm de largo, de color blanquecino; las alas conspicuamente demarcadas del cuerpo de la semilla (Red-SEMARNAP, 2000; CONABIO, 2001) (Figura 10).



Figura 10. Características típicas de las semillas de *Tabebuia rosea* (Bertol) DC.

4.3.2.1. Tratamiento pregerminativo

Aunque Webb *et al.* (1984) y Geilfus (1989) reportaron que la semilla de maculís no presenta latencia, para uniformizar la germinación se recomienda que las semillas se remojen en agua fría o a temperatura ambiente por 24 horas.

4.3.2.2. Establecimiento de la plantación

Existen diferencias en cuanto a crecimiento del maculís como consecuencia de las diversas calidades de sitio, edad, densidad de plantación y manejo. El crecimiento en plantaciones con las mejores condiciones climáticas llega a alcanzar hasta tres metros de altura en el primer año de haberse plantado (Geilfus, 1989). En el sureste de México, Pérez y Chacón (1994) reportaron que

en general, el crecimiento en altura varía entre 1.5 a 2 m y el diámetro entre 1.5 y 2.0 cm por año.

Según la experiencia de Pérez (2001) citado por Pérez-López (2001) el maculís en Puyacatengo, Tabasco, se regenera de manera natural. El OFI-CATIE (2008), reportó que el *Tabebuia rosea* no ha sido usado muy comúnmente en plantaciones puras debido a la tendencia del fuste a bifurcar en los primeros años.

4.3.2.3. Preparación del terreno

Según Pérez-Cruz y Chacón-Espinoza (1994) la preparación del terreno depende de la topografía existente, ondulada o plana; para pendientes mayores del 10 % se trazan curvas de nivel equidistantes de 2.5 a 3.0 m según la densidad de la plantación.

La plantación manual de árboles se hace con el apoyo de pala y barretón o barreta para abrir hoyos de 30 cm de profundidad por 20 cm de ancho, colocándose la planta sin el envase; además se debe tener cuidado de que el cuello de la raíz no quede fuera del suelo, ni muy enterrado, de lo contrario puede causar retraso en su crecimiento (Pérez y Chacón, 1994; citado por Martínez-Domínguez, 1997).

4.3.2.4. Época de plantación

Al igual que la caoba, para el maculís se tienen, en el estado de Tabasco, se tienen definidas dos épocas de plantación, una al inicio de las lluvias en los meses de junio y julio y la otra al inicio de los nortes en los meses de noviembre y diciembre; la que ha dado mejores resultados es la segunda, quizás porque en ella se tienen temperaturas bajas que evitan la deshidratación de la planta (Pérez y Chacón, 1994; citado por Martínez-Domínguez, 1997).

4.3.2.5. Densidad y espaciamiento de plantación

Geilufus (1989), reporta que la distancia adecuada puede ser de 2 a 3 m mientras que Pérez y Chacón (1994), citado por Martínez-Domínguez (1997), indica que un espaciamiento de 3 x 3 m para una plantación de maculís uniespecífica o asociada con otras especies es adecuado, esto daría una densidad de 1000 a 1100 plantas por hectárea; esta densidad es práctica, puesto que ello permite realizar actividades de mantenimiento y el espacio es adecuado para el desarrollo de la planta.

En el caso de que existan pendientes mayores al 10 % se recomienda el trazo de curvas a nivel, espaciados de tres bolillo 2.5 a 3.0 m. La distancia entre curvas de nivel dependerá de la pendiente del terreno y de la densidad de plantas que se desee establecer (CONABIO, 2001). Otras experiencias (OFI-CATIE, 2008) sugieren plantar en línea a espaciamientos de 3 a 4 m entre árboles. Cuando se plantan con espaciamientos de 3 x 3 m, 3 x 4 m y 4.5 x 5 m,

ha sido intercalado con yuca y frijoles. A espaciamientos mayores que 2.5 x 2.5 m se puede mejorar la forma de los fustes mediante podas.

4.3.2.6. Apertura de cepas

El tamaño de las cepas dependerá de las dimensiones del envase que se haya utilizado para la producción de las plantas. Esto implica que las cepas deberán realizarse con 3 a 5 unidades de volumen adicional al tamaño del cepellón de la planta; no obstante, dependiendo de las condiciones del terreno las dimensiones y tipo de cepas podrán variar, esto en función de las estrategias de conservación de suelo que se deseen emplear, de las características del suelo, y de las condiciones climáticas.

Con el fin de aprovechar el máximo potencial reproductivo de la plantación, se aconseja que después de uno o dos meses de colocada la planta se reponga las pérdidas. Igualmente se puede sustituir plantas que no sean vigorosas (CONABIO, 2001).

4.3.2.7. Utilización en sistemas agroforestales

a) *Cercas vivas*. Martínez (1997) observó ejemplares sirviendo de lindero en potreros, formando parte de cercos vivos y como árboles de sombra para el ganado, además CONABIO (2001) reportó que se encuentra frecuentemente en huertos familiares en Totonaca, Veracruz, en patios y potreros, y se ha encontrado asociado a Sistemas Agroforestales de la Sabana en Tabasco.

b) *Cortinas rompevientos*. Debido a que presenta rápido crecimiento alcanzando 2 m de altura a los 3 años de edad en su hábitat natural, se recomienda para la formación de cortinas rompevientos; pero con un buen manejo puede llegar alcanzar 3 m de altura desde el primer año de haberse plantado (Geilfus, 1989).

c) *Sombra*. Debido a las características del árbol, principalmente a que presenta pocas ramas gruesas y horizontales y ramificación simpódica, además de que la copa es estratificada se utiliza como sombra, especialmente en potreros (Martínez *et al.*, 2006).

4.3.3. *Cedrela odorata* L.

El género *Cedrela* pertenece a la familia Meliáceas y es originario de México y Centro América. Después de la Caoba, es la especie maderable más importante en la industria forestal de México (CONAFOR, 2005). De acuerdo a sus características posee:

a) *Fructificación*. La fructificación se presenta en infrutescencias de hasta 30 cm de largo y son péndulas. Los frutos son cápsulas leñosas dehiscentes parecidas a nueces de 4-5 cm de largo de color marrón oscuro en la madurez; elipsoides, oblongas y unos 2 cm de diámetro; valvas con dos capas que se separan de un eje persistente con 5 costillas, en algunas cápsulas 4 costillas; con un fuerte olor a ajo y produciendo un exudado blanquecino y acuoso cuando están inmaduras (Glogiewicz, 1998).

b) *Frutos*. El fruto contiene alrededor de 20-40 semillas y permanece adherido al árbol por algún tiempo, al madurar las cápsulas se abren en el árbol, liberando semillas aladas de 2-3 mm de largo. Los frutos maduran en abril y mayo del año siguiente cuando el árbol ha tirado sus hojas. En los Tuxtlas, Veracruz, fructifica de enero a abril y de septiembre a octubre (CONABIO, 2001).

c) *Semillas*. Cada cápsula de las semillas tiene un eje central de 5 ángulos con un ápice amplio al cual se adhieren las semillas. Las semillas de cedro rojo son aladas (Figura 11) de 2-3 cm de largo, incluyendo a las morenas adheridas al eje, oblongas o elíptico-oblongas de 1.2-3.0 cm de largo y entre 5 mm y 8 mm de ancho, con la parte seminal hacia el ápice del fruto. Un kilogramo contiene de 32, 000 a 50, 000 semillas (Osorio, 1982).



Figura 11. Características de las semillas de la especie *Cedrela odorata* L.

4.3.3.1. Tratamiento pregerminativo

Dadas las características morfológicas y anatómicas, así como la alta capacidad germinativa natural, la especie no requiere tratamientos pregerminativos. Sin embargo si desea una germinación más uniforme, se

sumerge la semilla en agua a temperatura ambiente por 24 horas antes de siembra (CATIE, 1997).

4.3.3.2. Establecimiento de la plantación

Es una especie que demanda luz; por lo tanto, debe plantarse en lugares abiertos o en líneas en plantaciones de enriquecimiento. Crece mejor mezclada con otras especies de árboles como *Leucaena*, *Eucaliptus citriodora* o cultivos perennes, lo que además reduce el riesgo de ataque del barrenador. Los espaciamientos recomendados varían con el sitio y el cultivo asociado. En plantaciones de enriquecimiento se usan hileras separadas 10 m y se dejan 5 m entre árboles (OFI-CATIE, 2008).

4.3.3.3. Selección del sitio

Antes de elegir el sitio en donde se va a plantar, el cedro rojo es necesario saber de los requerimientos de dicha planta; así que el sitio de la plantación debe reunir las características del área de distribución natural de esta especie (Gómez, 1965; citado por Gordillo-López, 2000).

4.3.3.4. Preparación del terreno

La preparación del terreno consiste en crear condiciones favorables en el área de plantación. Esto puede consistir, desde la limpia de hierbas, arbustos, y extracción de árboles que compiten por nutrientes y sombras, hasta realizar un barbecho de la tierra. Se recomienda extraer los árboles que estorben antes de realizar la plantación, ya que una vez plantados, se provoca mucho daño a éstos al ser derribados los grandes árboles o en algunos de los casos cuando

se desraman. En caso de que quieran eliminar los árboles grandes de valor comercial, es preferible dejarlos crecer junto con el Cedro rojo (Franco-Islas, 1999).

En terrenos con topografía poca o muy accidentada, la preparación puede reducirse a un chapeo manual, que puede ser total o parcial en callejones o en líneas donde se vayan a establecer las plantas. Resulta conveniente que la hierba y el ramaje se coloquen en los pasillos que vaya dejando la plantación, esto puede ayudar en la fertilidad del suelo, y en los terrenos accidentados puede reducir o evitar la erosión (Sosa, 1997).

4.3.3.5. Método de plantación

El Cedro rojo requiere un suelo de estructura migajosa y rico en humus, que permita buena aireación y drenaje; pero que a la vez, mantenga un buen grado de humedad. En el suelo del bosque recién talado se presentan, comúnmente, estas condiciones, y los brinzales de cedro rojo, crecen bien durante 3 o 4 años, pero luego al ir perdiendo el suelo la estructura migajosa y disminuir la materia orgánica, se observa cierta disminución del crecimiento y robustez (Hernández, 1988).

Cuando la condición del terreno es relativamente plana, la plantación puede realizarse en marco real; pero si el terreno tiene 10 % o más de pendiente, es recomendable trazar hileras en contorno, con el propósito de disminuir los riesgos de erosión del suelo; aquí la plantación deberá de efectuarse a tres bolillo, para amortiguar los escurrimientos del agua. Según (Cruz-Loaeza, 2002)

esta especie es inconveniente para plantaciones de protección del suelo, debido a los problemas de plagas que presenta, refiriéndose a arbustos y árboles perennifolios. El sistema de plantación, depende de las condiciones de precipitaciones, topografía, desarrollo del suelo y posibilidades económicas.

4.3.3.6. Época de plantación

Se recomienda establecer la plantación, a mediados o a finales de la época de lluvias, la planta deberá enterrarse un poco más arriba del cuello de la raíz (de 5 a 10 cm) y realizar un acolchado a la planta, el cual consiste en colocar materia orgánica sobre la cepa y alrededor del tallo, que pueden ser ramitas, hojarasca, restos de paja, para retener la humedad del suelo por un periodo más largo. Si la planta recién plantada sufre sequía, seguramente se presentará un alto porcentaje de mortalidad (Sandoval, 1995).

4.3.3.7. Densidad y espaciamiento de plantación

Los espaciamientos recomendados varían con el sitio y el cultivo asociado. En combinaciones agroforestales: con cultivos perennes por ejemplo café, es de 6 x 6 m a 9 x 9 m; · con cultivos anuales de 5 x 3 m; en plantaciones puras de 3 x 3 m a 5 x 5 m; plantaciones mixtas con otras especies arbóreas, de 6 x 4 a 14 x 7m; y en linderos o cercas vivas de 3 a 5 m entre árboles (OFI-CATIE, 2008).

4.3.3.8. Apertura de cepas

Consiste en abrir hoyos en el terreno, utilizando generalmente pala recta o cava hoyos; los huecos se hacen en forma de cubos de 40 x 40 x 40 cm. Éste es el sistema más utilizado en México, pero no recomendable en terrenos muy

degradados y con mucha pedregosidad (Cruz-Loaeza, 2002); sin embargo, Martínez, (1999) asevera que las cepas para plantar deben ser de 30 x 30 x 30 cm. Se recomienda abrirlas unos días antes de plantar para permitir la aireación y para que las larvas de parásitos que pudieran dañar a las raíces sean eliminadas (Rojas-Morales, 1995).

El trazo de líneas para abrir las cepas y depositar las plantas debe de ser de tal forma que se garantice una distribución proporcional de los componentes del agrosistema y se distribuya óptimamente el espacio para aprovechar los nutrimentos, agua y luz (Martínez, 1999).

4.3.3.9. Utilización en sistemas agroforestales

Rojas-Morales (1995), realizó una evaluación de una plantación de Cedro rojo en Sistemas Agroforestales (Cedro rojo-maíz) en los Tuxtlas, Veracruz, presentando al año, un promedio de 1.72 m de altura y 4.7 cm en diámetro. En una plantación de 21 meses: 4.17 m de altura y 9.5 cm en diámetro, desde luego bajo condiciones climáticas favorables y un nivel intermedio de insumos aplicado a la plantación.

Otro estudio de incremento en Cedro rojo, lo realizó Juárez (1998) citado por Franco-Islas (1999) en un relicto de selva en Campeche, reportando incrementos de 0.83 cm de diámetro y 2.33 m de altura, ambas promedio, cada cinco años durante 20 años de evaluación. En la misma plantación realizó comparaciones en diferentes tipos de suelo (Ka' kab, Ya' axhom, Ak' alché) encontrándose mejor desarrollo en suelos de tipo Ka' kab.

4.4. Agua de coco

La planta de coco o cocotero pertenece a la familia *Palmae*, cuyo nombre científico, es *Cocos nucifera* L. Es una palmera, de tronco largo y elástico, con hojas pinnadas ubicadas solamente en la copa de la planta. El fruto de esta palma es el coco, una drupa de tamaño similar o mayor que un melón, cubierto de una capa gruesa y fibrosa “estopa”. En la parte interna del fruto se encuentra un compartimiento cerrado de capa dura, llamado nuez de coco; dentro de ésta, se descubre la semilla conformada por una pulpa blanca comestible y un líquido ligeramente opaco, conocido como agua de coco (INFOAGRO, 2008).

Se especula que esta planta es originaria de las Islas del Pacífico y se desarrolla actualmente en todas las zonas del trópico. En general, suelen distinguirse tres tipos de cocoteros en función de la altura: gigante, enano e híbrido, y dentro de cada tipo un gran número de variedades (INFOAGRO, 2008).

El fruto tierno del cocotero es aprovechado para extraer el líquido o leche con la finalidad de emplearlo como bebida refrescante. El agua de coco es una bebida a la cual se le atribuyen muchas virtudes por su elevado contenido en sales minerales, vitaminas y carbohidratos.

4.4.1. Propiedades nutritivas y composición química del agua de coco

De acuerdo a Ovalles *et al.* (2002) desde el punto de vista bromatológico, el agua de coco es rica en nutrimentos según tablas de composición de alimentos nacionales e internacionales (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valor nutritivo del agua de coco.

Componente	Contenido/100 g (Venezuela) ^a	Contenido/100 ml (Foráneo)
Calorías	18.00	20.00 ^b
Humedad (g)	95.10	nd
Proteínas (g)	0.20	0.10 ^b
Carbohidratos totales (g)	0.10	0.05 ^b
Fibra dietética total (g)	4.10	5.50 ^b
Cenizas (g)	0.00	nd
Calcio (mg)	0.50	nd
Fibra dietética total (g)	20.00	nd
Fósforo (mg)	11.00	0.40 ^b
Hierro (mg)	0.40	nd
Magnesio (mg)	nd	10.00 ^c
Zinc (mg)	nd	nd
Cobre (mg)	nd	nd
Sodio (mg)	nd	25.00 ^b
Potasio (mg)	nd	294.00 ^c
Cloruro (mg)	nd	118.00 ^c
Vitamina A	nd	nd
Caroteno	nd	nd
Tiamina (mg)	nd	nd
Riboflavina (mg)	0.01	nd
Niacina (mg)	0.10	nd
Vitamina B6 (mg)	nd	nd
Ácido ascórbico (mg)	2.00	nd

Fuente. Instituto Nacional de Nutrición^a, www.infoagro.com^b. nd ≈ No hay datos disponibles.

Ovalles *et al.* 2002 en su investigación identificaron y cuantificaron un total de 11 aminoácidos en el agua de coco tierno. El contenido líquido de cada coco (≈ 500 ml) se caracterizó por un elevado contenido (> 5 mg) en serina, glicina,

histidina, tirosina, fenilalanina, isoleucina y leucina. También reportaron que el contenido de aminoácidos libres de agua de coco varió representativamente de una muestra a otra, debido probablemente al estado de madurez de los frutos, ya que este líquido lechoso finalmente se convierte en la pulpa de coco, rica en proteínas. El agua de coco, además de aminoácidos libres, contiene sustancias minerales de elevado interés biológico en virtud de que se encuentran en forma de sales solubles fácilmente asimilables por el organismo.

La composición del agua de coco, depende de la madurez del fruto. Desde la inflorescencia hasta el sexto o séptimo mes, la reducción en el contenido de azúcares se incrementa hasta llegar a un valor máximo de 5 %, en base húmeda. A los 12 meses de madurez del fruto, la cantidad de azúcares, no reductores, disminuye considerablemente a un valor más o menos dependiente de la variedad. El agua de coco contiene un factor de crecimiento, una sustancia inductora de las células identificada como glucósido zeatina, mejor conocida como citoquininas. En la actualidad el uso de agua de coco puede ser utilizado como materia prima para el proceso de fermentación, lo que la hace apropiada para la producción de vinagre y nata de coco.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Descripción del área de estudio

5.1.1. Localización del sitio de estudio

El predio donde se estableció el experimento, es propiedad legal del Centro Regional Universitario Oriente Huatusco, Veracruz, que pertenece a la Universidad Autónoma Chapingo. Posee una superficie de 3,162.258 m² y se encuentra ubicado a 19° 10' N y los 96° 57' W, en el km 6 de la carretera Huatusco-Xalapa, en el sitio conocido como Tlaxopa, jurisdicción de Tepecingo, Municipio de Huatusco, Ver., a 1,330 metros sobre el nivel del mar (Figura 12).

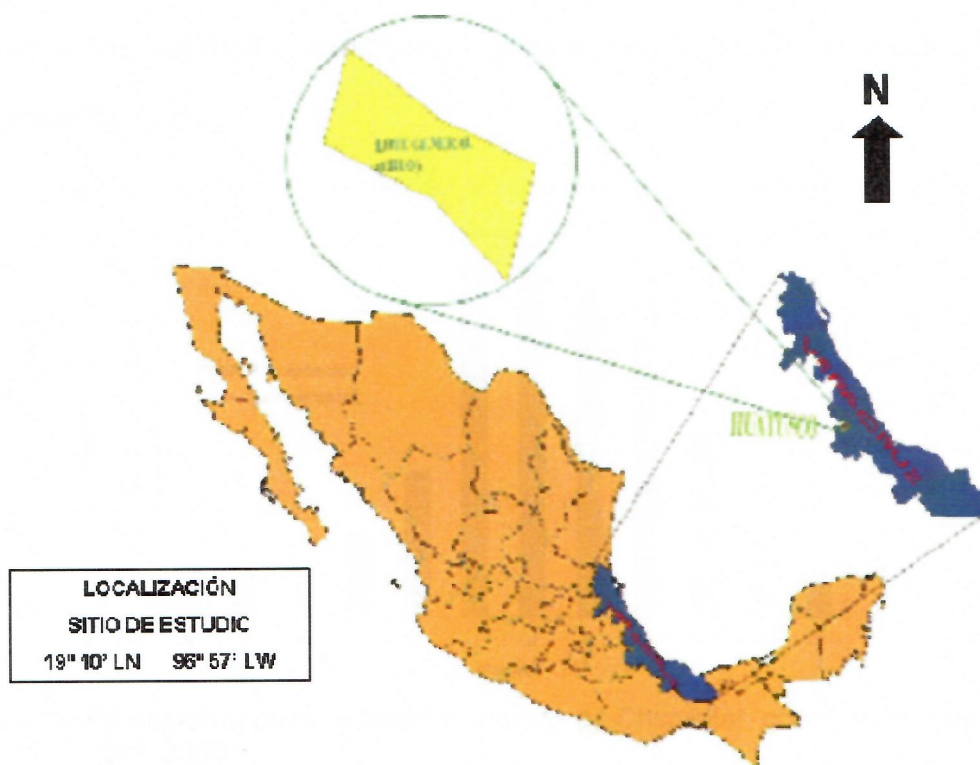


Figura 12. Ubicación geográfica del sitio de estudio en Huatusco, Veracruz.

5.1.2. Caracterización ecológica del sitio de estudio

5.1.2.1. Clima

El clima reportado para la región es del tipo (A) C (m): semicálido húmedo (García, 1984). Pérez y Robledo (1996) indican que el clima del Centro Regional, se representa por la fórmula climática C (m) w" v (i') g; que corresponde a un clima templado, húmedo, de poca oscilación térmica y el mes más cálido antes del solsticio de verano.

a) *Climograma*. La Figura 13 nos indica, que no hay meses secos o períodos de aridez debido a que la precipitación se manifiesta durante todos los meses del año, habiendo un crecimiento vegetal sin que las plantas sufran estrés hídrico; lo que justifica el alto porcentaje de supervivencia a pesar de haber sido la plantación tardía.

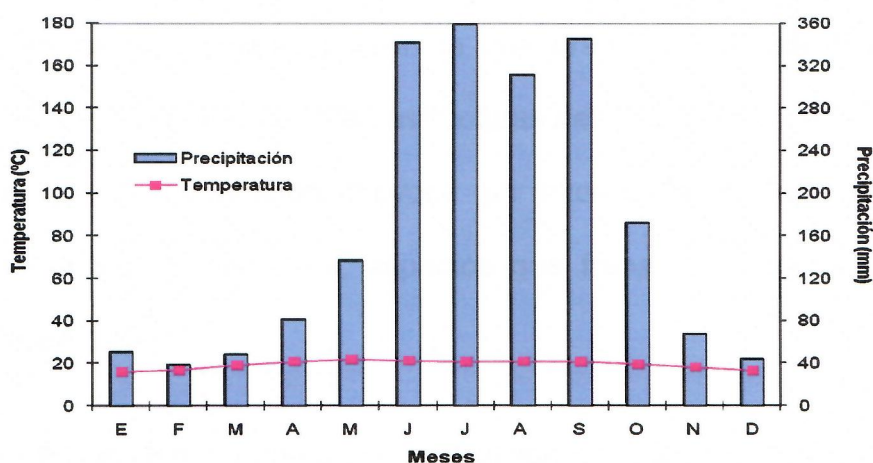


Figura 13. Climograma de la estación Huatusco de Chicuellar, con datos del período de 1971-2000.

Fuente. CONAGUA.

5.1.2.2. Hidrología

La zona se ubica dentro de la cuenca hidrológica intermedio-alta del río Jamapa. Al norte del predio se presenta un afluente secundario denominado Dos Puentes el cual desagua en Boca del Río (Pérez-Pérez, 2004).

5.1.2.3. Fisiografía

En el Centro Regional, la fisiografía se identifica por la presencia de áreas de lomerío (60 %), alternando con laderas (30 %) y valles (10 %), las cuales se diferencian por la forma, pendiente, vegetación y tipo de suelo (Licona, 1982).

a) *Relieve*. El sitio de estudio es una ladera uniforme, con pendiente pronunciada de 56 %, y exposición NE.

5.1.2.4. Suelos

Los suelos del Centro Regional, en general, son de origen volcánico, de material finamente divididos; presentan una gran cantidad de minerales sin cristalización por lo que no existen estructuras definidas. Son suelos incipientes debido a que la vegetación provoca un microclima de alta humedad y relativamente baja temperatura, aspectos que frenan el desarrollo del suelo (Pérez-Pérez, 2004).

Con base en un estudio edafológico realizado por Licona (1982) y citado por Pérez-Pérez (2004), en el predio del Centro Regional, describe los siguientes subgrupos, según la Séptima Aproximación y su relativo en la clasificación

FAO-UNESCO: a) Andosol dístico; b) Androsol úmbrico; c) Mollisol argílico; d) Alfisol Vértico; e) Alfisol ácuico.

5.1.2.5. Vegetación

Pérez-Pérez (2004) señala que la vegetación dominante en el Centro Regional, es bosque mesófilo, sumamente perturbado por la introducción de la ganadería extensiva y cultivo de café. De acuerdo a los resultados de la identificación de las muestras herbáceas realizadas en el Departamento de Zootecnia de la UACH, las especies de pasto más importantes, que predominan en la parcela de estudio, son: *Paspalum convexum* Homb; *Setaria lutescens* (Weigel), *Andropogon virginicus* L., *Muhlenbergia schreberi*, *Sporobolus indicus* (L) R. Br y *Trisetum spicatum* (L) Richt.

5.2. Estudio previo de las especies

Las semillas utilizadas en los ensayos de estudio proceden de Tuxtla, Veracruz. En el Laboratorio de Semillas de la División de Ciencias Forestales, se realizaron los estudios de las especies en estudio, con la finalidad de evaluar y conocer las características físicas, además de efectuar el tratamiento pregerminativo con agua de coco tierno, socato y seco, agua destilada y sin inmersión, buscando detectar el efecto de dichos tratamientos.

5.2.1. Características físicas

La calidad de la semillas que se va sembrar es fundamental para conseguir un buen establecimiento de plantas, constituyéndose en el primer paso para lograr un cultivo óptimo. De acuerdo a las normas internacionales para el ensayo de

semillas establecidas por el ISTA (International Seed Testing Association) (ISTA, 1996), se desarrollaron las siguientes pruebas:

a) *Pureza*. Para determinar la cantidad de impurezas de las semillas como: maleza, semillas de otras especies, estructuras desprendidas de la semilla, partículas de hojas, ramitas y otros materiales, se utilizó el método de limpieza manual de separación de los componentes de muestra y posterior establecimiento del porcentaje de semilla puras, el cual se hizo para cada especie de la siguiente manera.

$$\%P = \frac{Pf}{Pi}(100); \text{ donde:}$$

- ✓ $\%P$: es el porcentaje de pureza
- ✓ Pf : es el peso de semillas puras
- ✓ Pi : es el peso original de semillas, con impurezas.

La cantidad de semilla utilizada, para cada especie, se menciona a continuación, representan las muestras de trabajo:

- ✓ caoba: 486.38 g
- ✓ roble: 50.56 g
- ✓ cedro rojo: 26.03 g.

b) *Peso*. El peso de la semilla es un parámetro importante para calcular las tasas de siembra en el semillero o vivero. Este parámetro va a depender del tamaño de la semilla, contenido de humedad, y la cantidad de semillas llenas en

el lote. Para determinar el peso de las semillas, por especie, se tomaron 10 muestras de 100 semillas puras cada una, siendo un total de 1 000 semillas. se registró el peso de cada muestra en balanza analítica.

c) *Contenido de humedad.* El contenido de humedad, para las tres especies estudiadas, se realizó mediante el método de la estufa a una temperatura de 80 °C, en dos muestras de 1 g, secadas en cajas de petri, hasta obtener un peso constante. El porcentaje de humedad se determinó con base en la siguiente fórmula y con respecto al peso seco:

$$\%Humedad = \frac{P_i - P_f}{P_i} (100); \text{ donde:}$$

- ✓ P_i : es el peso antes
- ✓ P_f : el peso después del proceso de secado.

d) *Viabilidad.* Se refiere a la capacidad potencial que tiene la semilla para germinar en condiciones favorables. Bajo este concepto la viabilidad es considerada como un sinónimo de capacidad germinativa. Previo a la prueba de viabilidad las semillas tuvieron 24 horas de inmersión en agua destilada. Posteriormente, se realizó la prueba a través del método de tinción con sal de tetrazolio (cloruro de 2, 3, 5 trifeniltetrazolio, al 1 %, $C_{19}H_{15}N_4Cl$), sobre 100 semillas puras por especie, con cortes prolongando su contacto con la sal hasta 24 horas puestas en cajas de petri, envueltas en papel aluminio e introducidas a la cámara de ambiente controlado a 30 °C. Finalizado el tiempo estipulado se

procedió a contabilizar las semillas teñidas de color rosa, consideradas viables.

Para obtener el porcentaje de viabilidad se consideró la siguiente fórmula:

$$\%V = \frac{SV}{TS}(100); \text{ donde:}$$

- ✓ $\%V$: es la viabilidad
- ✓ SV : son las semillas vivas
- ✓ TS : es el total de semillas.

e) *Prueba de germinación.* Es el ensayo de mayor importancia dado que indica directamente el valor del lote a través del análisis. Paralelamente se efectuaron dos pruebas de germinación de semillas, considerando el origen y ecología de las especies (hábitat natural) y el lugar donde se realizó el experimento, así como el sitio donde se plantaron (variaciones climatológicas). En ambas pruebas de germinación, las semillas fueron seleccionadas al azar, desinfectadas por espacio de 30 min con mezcla de agua destilada y el fungicida clorotalonil (1 g.L^{-1}). Realizada la siembra se regaron diariamente con una mezcla de agua destilada y el fungicida Captán (3g.L^{-1}) para la prevención de infecciones.

e.1.) *Germinación en ambiente controlado.* La variable a determinar para este ensayo fue el porcentaje de germinación. Las semillas fueron colocadas, alineadas en cajas de petri con papel filtro, siendo introducidas en la cámara de ambiente controlado marca Conviron, a un régimen de temperatura de $28/24^{\circ}\text{C}$ día/noche durante un mes (Figura 14), y fotoperíodo de 12 h. Debido al tamaño

de las semillas de la caoba en cada repetición se utilizaron dos cajas de petri, constituidas cada una con 25 semillas. Para el roble, en cada caja de petri se colocaron 50 semillas, formando dos cajas de petri una repetición. Finalmente, en cedro rojo, cada repetición se conformó de 100 semillas por caja de petri. En el Cuadro 2, se muestra el total de semillas y repeticiones empleadas por tratamiento, para cada especie a temperatura de ambiente controlado.



Figura 14. Cámara de ambiente controlado marca Convion, a un régimen de temperatura diaria de 28/24 °C día/noche y 12 h de luz.

Cuadro 2. Número de repeticiones y total de semillas evaluadas por especie arbórea en cámara de ambiente controlado.

Especie	Temperatura	Repetición	Número de semillas totales
Caoba	28/24 °C	R ₁ , R ₂ , R ₃ , R ₄	200
Roble	28/24 °C	R ₁ , R ₂ , R ₃ , R ₄	400
Cedro rojo	28/24 °C	R ₁ , R ₂ , R ₃ , R ₄	400

La base para considerar una semilla germinada fue que la radícula fuese igual o mayor al tamaño de la semilla, la finalidad de este ensayo, sólo fue para obtener el por ciento de germinación y no para la producción de plantas en vivero. Con los datos de la germinación de las semillas, registradas diariamente,

se obtuvo la curva de germinación acumulada, el porcentaje final de germinación y el número de plantas germinadas.

e.2.) Germinación a temperatura ambiente con tratamiento pregerminativo. En este ensayo la prueba tuvo como variable observar el porcentaje de germinación en las especies de caoba, roble y cedro rojo. El ensayo se realizó considerando un tratamiento sin inmersión y cuatro tratamientos en inmersión con: agua de coco tierno, agua de coco socato, agua de coco seco y agua destilada, sumergidas las semillas de cada tratamiento en un vaso de precipitados cubierto de papel aluminio durante un período de 24 horas (Figura 15). Cada repetición en la caoba estuvo constituida por 48 semillas; en tanto que para roble y cedro rojo, estuvo formada por 100 semillas (Cuadro 3).

Con los datos registrados, diariamente en el laboratorio, se obtuvo el máximo de germinación por tratamiento en cada especie, así como el porcentaje promedio de germinación.

Cuadro 3. Tratamiento, repeticiones y total de semillas en cada tratamiento a temperatura ambiente.

Especie	Tratamientos	Repetición	Número de semillas totales
Caoba	T ₀ , T ₁ , T ₂ , T ₃ , T ₄	R ₁ , R ₂ , R ₃	720
Roble	T ₀ , T ₁ , T ₂ , T ₃ , T ₄	R ₁ , R ₂ , R ₃ , R ₄	2000
Cedro rojo	T ₀ , T ₁ , T ₂ , T ₃ , T ₄	R ₁ , R ₂ , R ₃ , R ₄	2000

Nota: T₀ sin inmersión; T₁ agua de coco tierno; T₂ agua de coco socato; T₃ agua de coco seco y T₄ agua destilada.



Figura 15. Lámina que ilustra los tratamientos pregerminativos: T₁ agua de coco tierno, T₂ agua de coco socato, T₃ agua de coco seco y T₄ agua destilada.

Transcurridas las 24 horas de inmersión, en cada tratamiento, se procedió a la siembra de las semillas en el envase y sustrato recomendado para la germinación. Las semillas de las tres especies fueron sembradas en líneas, lo cual facilitó la toma de registro diario durante la germinación. La profundidad de siembra considerada fue de uno y medio al tamaño de la semilla.

El envase seleccionado para la germinación fue una charola, cuyo material es de tipo "fon" con las siguientes dimensiones: largo, 20.5; ancho, 15 y espesor 6 cm. El sustrato sobre el cual germinaron las semillas fue tezontle tamizado y esterilizado en autoclave vertical a una presión de 15 lb durante 2 h en bolsas de polipropileno (Figura 16).

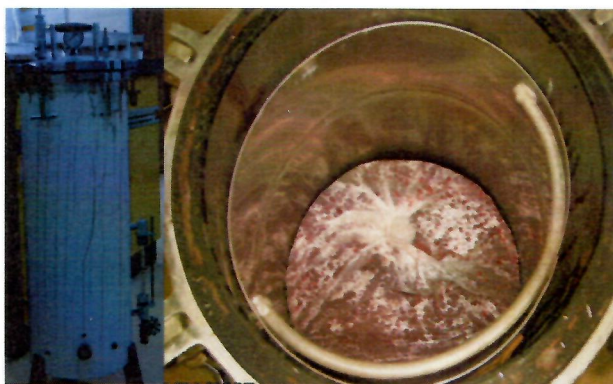


Figura 16. Forma de esterilizar el tezontle en autoclave vertical, protegido en bolsa de polipropileno.

Todos los días se regó el sustrato para mantener la humedad, sin exceso de agua; a su vez todos los días se realizó el conteo de las semillas germinadas, durante un mes y medio después de sembradas considerando la temperatura ambiente (21 °C) del laboratorio.

5.2.2. Análisis de datos

En ambos ensayos de germinación se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones para la caoba en cada tratamiento y cuatro repeticiones para roble y cedro rojo, respectivamente. La variable de porcentaje de germinación se realizó mediante el análisis de varianza por ANOVA y pruebas de comparación de medias (Tukey, 0.05) mediante el programa SAS® (SAS Institute, 1989). El modelo utilizado para el análisis de varianza fue el siguiente (Montgomery, 2007; Infante-Gil y Zárate de Lara, 2007):

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : Respuesta en la j -ésima unidad experimental con el tratamiento i -ésimo.

μ : Media general, común a todas las unidades, antes de aplicar los tratamientos.

τ_i : Efecto del i -ésimo tratamiento.

β_j : Efecto del j -ésimo bloque.

ε_{ij} : Error en la j -ésima repetición del i -ésimo tratamiento.

5.2.3. Producción de planta en vivero

Después de germinadas las semillas en laboratorio se trasplantaron las plántulas en el vivero de la División de Ciencias Forestales, utilizando bolsas de polietileno negro de 10 x 22 cm (Figura 17), dejándolas en crecimiento por cuatro meses.

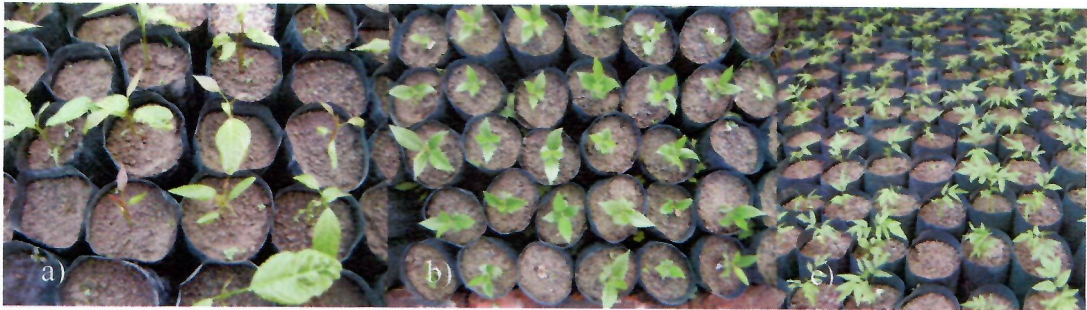


Figura 17. Producción de plantas en vivero: a) *Swietenia macrophylla* King, b) *Tabebuia rosea* (Bertol) DC y c) *Cedrela odorata* L.

La tierra lama y la arena que se utilizaron, como sustrato para el llenado de las bolsas, fueron extraídas del río San Bernardino, producto de relleno de una de sus presas de control de azolves y sometida a un análisis de suelo en el Laboratorio Central de la UACH (Cuadro 4). Los resultados fueron basados en la norma International Seed Testing Association (1996).

Cuadro 4. Resultado del análisis de suelo utilizado como sustrato en el llenado de bolsas para el trasplante de plantas en vivero.

pH	MO %	ARENA %	LIMO %	ARCILLA %	CLASE TEXTURAL
7.66	1.34	22.2	31.6	46.2	ARCILLOSO

De acuerdo a los resultados, se tiene una textura arcillosa, con un pH moderadamente alcalino y un tanto cuanto pobre en materia orgánica. Considerando los resultados del análisis y los requerimientos, en cuanto a la textura se refiere, para cada especie se preparó un sustrato con las

proporciones adecuadas de tierra lama y arena de río (Cuadro 5), tamizando los materiales en un harnero para obtener un sustrato más fino.

Cuadro 5. Proporción de materiales para el llenado de bolsas por cada especie.

Especie	Proporción Tierra Lama: Arena
<i>Swietenia macrophylla</i> King	50:50
<i>Tabebuia rósea</i> (Bertol) DC	70:30
<i>Cedrela odorata</i> L.	60: 40

5.2.3.1. Trasplante

El propósito del trasplante fue disminuir la competencia que existe al germinar las semillas, y así aumentar el espacio vital entre las plántulas, hecho que favorece el desarrollo del sistema radical (particularmente las raicillas más finas), una vez que la raíz principal se ha formado después de la germinación. El trasplante se efectuó poco después de la germinación (no más de 6 días), tomando como regla general el desarrollo de la plántula. La cantidad de plantas trasplantadas en las bolsas de polietileno por especies se muestra en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Número de plantas trasplantadas por especie en vivero.

Especies	Total de plantas trasplantadas
<i>Swietenia macrophylla</i> King	148
<i>Tabebuia rósea</i> (Bertol) DC	436
<i>Cedrela odorata</i> L.	428
Total	1012

5.2.3.2. Media sombra

Con el fin de prevenir daños a las plantas por medio de los rayos directos del sol y reducir la evapotranspiración, así como las fuertes granizadas, se consideró conveniente la construcción de una estructura con una malla “zaran” (60 % de sombra) para la protección de todas las plantas.

5.2.3.3. Prevención de enfermedades

Después del trasplante se puede presentar un periodo crítico en el vivero, durante el cual, las plántulas son vulnerables a los factores del ambiente y a los diversos depredadores y patógenos. Por ello se aplicó un riego cada 7 días con fungicida Captán (3 g.L^{-1}), complementada con las adecuadas labores culturales para el control sanitario en las tres especies.

5.2.3.4. Labores culturales

Son actividades necesarias para mantener en buenas condiciones la planta en vivero, y así obtener un desarrollo adecuado u óptimo para la plantación posterior en el sitio donde se plantarán:

a) *Riego*. Es uno de los componentes más importante de un vivero forestal; por ello, se realizó un riego cada 3 días, por la mañana, debido a las condiciones climatológicas locales —verano para la región—, garantizando la cantidad de agua necesaria para las plantas.

b) Deshierbes. Durante toda la etapa de cultivo se eliminaron manualmente todo tipo de maleza que crecía en las bolsas, evitando con ello los hospederos de plagas y/o enfermedades, competencia por espacio, nutrimentos, luz y agua.

5.3. Actividades para establecer el módulo con el Método Nezahualcóyotl

El establecimiento armónico de los componentes árbol-pasto-animal involucrados en este módulo demandó una serie de actividades y cálculos que se describen a continuación:

5.3.1. Preparación del terreno

La preparación del terreno se realizó de forma manual, eliminando la poca vegetación que vertical y horizontalmente, interfería con el trazo de las curvas a nivel (Figura 18).



Figura 18. Vista del sitio experimental antes (a) y después (b) de la preparación.

5.3.1.1. Cerca perimetral

Se estableció una cerca perimetral permanente para controlar el acceso de los animales al módulo, esta cerca fue con postes de madera seca (estantes), de

10 a 15 cm de diámetro, 2.10 m de largo, y separados cada 5 m, y alambre de púas a 4 hilos. Al interior del módulo y para ejercer un alto control en la cosecha por pastoreo, se proyectó el uso de cercos eléctricos temporales y movibles. Este tipo de cercado se describe más adelante.

5.3.2. Arreglo topológico y distribución de los componentes

El arreglo y distribución de los componentes dentro del módulo fue realizado de acuerdo a las características que presentaba el terreno y a los objetivos trazados. Todas las actividades se realizaron manualmente. En la Figura 19 se observa el arreglo final del módulo para albergar este Método Nezahualcóyotl.



Figura 19. Arreglo topológico del Método Nezahualcóyotl en un sistema silvopastoril.

En el Cuadro 7 se describen los componentes que conformaron el módulo del Método Nezahualcóyotl, aplicado en la ladera seleccionada.

Cuadro 7. Descripción de los componentes del Método Nezahualcóyotl en un sistema silvopastoril caoba-roble-cedro rojo-pasto (*Paspalum convexum*) conforme su arreglo espacial y temporalidad.

Componentes	Forma biológica	Estrato vertical altura promedio (cm)	Estrato horizontal distancia entre plantas x hilera (m)	Temporalidad
Caoba	Arbórea	5.75	4 x 7-8	Permanente
Roble	Arbórea	4.65	4 x 7-8	Permanente
Cedro rojo	Arbórea	5.15	4 x 7-8	Permanente
Maíz	Herbáceo	2.40	1 x 1	May-Nov (sólo en el primer año)
Pasto	Gramínea	9.30	Césped	Permanente

5.3.2.1. Interlineado

El interlineado consistió en trazar y marcar las curvas de nivel, obteniendo como resultado la construcción de cinco zanjas, no continuas, a lo largo de la ladera. De acuerdo a la superficie y la pendiente del terreno, la equidistancia establecida entre zanjas o curvas de nivel fue de 7 m, para las primeras cuatro, y de 8 m, en la última, con una longitud de 80.5 m y 86.6 m respectivamente. Una panorámica se aprecia en la Figura 20.



Figura 20. Panorámica del interlineado para el establecimiento de un sistema silvopastoril en ladera por el Método Nezahualcóyotl.

5.3.2.2. Intralineado

El intralineado consiste en fijar el distanciamiento, que debe quedar entre plantas de la misma línea o curva de nivel. Se plantó en forma alterna (al tres bolillo) intercalando las especies de manera sucesiva: caoba, roble y cedro rojo, a una distancia de 4 m entre planta y planta de la misma hilera, iniciando a 50 cm de cada extremo (Figura 21). Considerando una equidistancia promedio en el interlineado de 7.75 m y 83.55 m de longitud, la densidad promedio fue de 20.75 plantas por hilera. En el campo la densidad real se distribuyó de la siguiente manera: 20 plantas en las cuatro primeras curvas y 22 plantas en la última. En el Cuadro 8 se muestra el número de árboles plantados por especie, y la cantidad total de árboles utilizados para cubrir la superficie del sitio experimental.

Cuadro 8. Número de plantas por especie plantadas en el módulo donde se estableció el Método Nezahualcóyotl.

Especies	Número de plantas por especie
<i>Swietenia macrophylla</i> King	30
<i>Tabebuia rósea</i> (Bertol) DC	46
<i>Cedrela odorata</i> L.	26
TOTAL	102



Figura 21. Ilustración que trata de mostrar el intralineado de la plantación.

5.3.2.3. Época de plantación

La plantación se efectuó el 21 de septiembre (finales del verano), a pesar de que hacía 5 días que no llovía (información verbal), el suelo conservaba buen contenido de humedad (véase zanja Figura 20). Como puede apreciarse en la Figura 13, el efecto de la canícula todavía se hacía sentir.

5.3.2.4. Tamaño y edad de las plantas

La edad para la plantación, de las especies estudiadas, fue de dos meses debido a que el periodo de lluvia estaba por finalizar en el lugar y sitio ya seleccionado. Las plantas contaban con una altura variable: de 4.0 a 7.5, de 4.0 a 5.3 y de 4.5 a 5.8 cm para caoba, roble y cedro rojo, respectivamente. En el Cuadro 9, se muestran las alturas promedio. Lo que sí era homogéneo fue, que todas las plantas mostraban un buen estado sanitario.

Cuadro 9. Altura promedio de las especies seleccionadas para la plantación.

Especies	Altura promedio (cm)
<i>Swietenia macrophylla</i> King	5.75
<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol) DC	4.65
<i>Cedrela odorata</i> L.	5.15

5.3.2.5. Plantación

Preparado el terreno se procedió a la plantación de cada uno de los bordos del Sistema Nezahualcóyotl, dispuestos sobre las curvas a nivel, distribuyendo los pequeños brinzales en forma intercalada; es decir, se inició con caoba, luego roble, siguió cedro rojo, otra vez roble, después caoba, etc.

Para la colocación de las plantas se cavaron cepas a una separación de 4 m, como ya se mencionó, realizando poda de raíz basal (solamente de 1 a 1.5 cm), y tratando de que los pequeños árboles quedaran lo más verticalmente posible. Se enterraron hasta el cuello de la raíz, y se les apisonó suavemente el suelo para evitar espacios con aire en la zona de las raíces. Las cepas se hicieron, manualmente, con dimensiones de 15x15x20 cm, acordes al tamaño real de las plantas (Figura 22).



Figura 22. Aperturas de cepas para la plantación.

Es necesario enfatizar que el pasto —vegetación dominante— ya estaba establecido en el sitio de estudio; por lo tanto, quedó asociado con los árboles, dándole el carácter de sistema silvopastoril de ladera al Método Nezahualcóyotl (Figura 23).



Figura 23. Aspecto de las especies plantadas en una ladera con dominancia de pasto.

5.3.3. Manejo del componente arbóreo

5.3.3.1. Control, prevención y mantenimiento post-cultivos

Para mantener las plantas y el pasto en buen estado, las actividades de limpieza, en base al control sobre el crecimiento de otras especies, se llevará a cabo de manera oportuna, realizando un cajete con un radio de 0.20 m, operación que se realizará hasta lograr que los árboles adquieran el porte necesario para producir sombra, y ejercer control sobre la maleza; de igual manera se efectuarán dos chapeos ligeros al año, como mantenimiento al pasto.

La prevención y control de plagas y/o enfermedades, se hará de forma paralela al mantenimiento y tratamientos silviculturales de la plantación, especialmente en los tres primeros años de establecida, donde se espera alcancen los 3 m de altura, para la caoba y cedro rojo, por ser éstos propensos al ataque del gusano barrenador de yemas (*Hypsipylla grandella* Seiler). La heterogeneidad del arreglo de la plantación, donde se asocian e intercalan las tres especies arbóreas utilizadas y el rápido crecimiento de roble, se espera contribuya a la disminución del ataque del gusano barrenador, en la caoba y cedro rojo.

Con el propósito de preservar la plantación contra el maltrato del ganado, se colocará, a lo largo y ancho de las plantas, un hilo electroplástico (líneas eléctricas móviles), durante cada movimiento de rotación del ganado en las franjas de turno de aprovechamiento del pasto.

Debido al tipo de clima que predomina en el sitio de estudio no se considera necesario el establecimiento de fajas cortafuego, ya que la incidencia de incendios es mínima o poco frecuente.

5.3.3.2. Replantación

Como en toda plantación, siempre hay pérdida de algunos elementos, es necesario reemplazarlos, siendo la reposición antes del periodo de lluvias del año siguiente a la plantación; para ello se cuantificarán el número de plantas fallidas, aunque no sea motivo de este trabajo.

5.3.3.3. Registro y evaluación de la supervivencia de las tres especies en estudio

Para determinar la supervivencia de las tres especies en estudio hubo necesidad de esperar a que las plantas tuvieran cuatro meses de edad, a fin de tratar de detectar alguna diferencia significativa entre las especies.

Los parámetros de evaluación en cada especie fueron:

- ✓ Porcentaje de supervivencia de la plantación. Por conteo directo se registraron los datos de número de plantas, para con ellos estimar los porcentajes finales de prendimiento o de supervivencia.
- ✓ Altura promedio de la plantación por especie. La altura promedio por especie fue determinada a través de una regla vertical graduada en centímetros, partiendo del cuello de la raíz hasta la yema apical.

5.3.4. Área ganadera del módulo silvopastoril en una hectárea

a) *Reemplazo del pasto nativo.* El propósito de realizar el reemplazo del pasto nativo por *Brachiaria brizantha* responde, a que éste es rico en nutrimentos, palatable, digestible, crece con cierto grado de sombra y es capaz de competir contra otras especies para controlar el crecimiento de éstas, cosa que el nativo no posee.

Aunque el reemplazo no corresponda a los resultados de esta investigación, se hará con la siembra de maíz a un ciclo. La utilización del cultivo de maíz es debido a sus ventajas, entre ellas, rápido crecimiento y cobertura del suelo, evitando el crecimiento de especies indeseables.

a.1) *Implantación y densidad de siembra del maíz y pasto Brachiaria brizantha.*

El maíz se sembrará de forma manual durante el mes de mayo a mínima labranza, con espaciamiento a 1 x 1 m (Figura 24). Cuando el maíz esté en su segundo aporcado oscilando entre los 60-80 cm de altura (45 a 50 días de la siembra), las semillas de *Brachiaria brizantha* se sembrarán manualmente a chorrillo con un distanciamiento entre líneas de maíz de 50 cm. La densidad de siembra será de 10 kg/ha, esta cantidad de semilla está ajustada a una germinación esperada de 50 % y la profundidad de siembra debe mantenerse entre 1 y 2 cm.

La siembra del pasto *Brachiaria brizantha* se limitará a las franjas ubicadas entre dos líneas continuas de árboles para permitir que éstos tengan su

espacio de crecimiento, evitando la competencia con el pasto; con el cerco eléctrico se evitará que los animales que pastorearán el pasto puedan dañar físicamente a los árboles.

La fertilización en el pasto se realizará al año de haberse dado el pastoreo con la aplicación de urea a razón de 10 kg/ha/año.

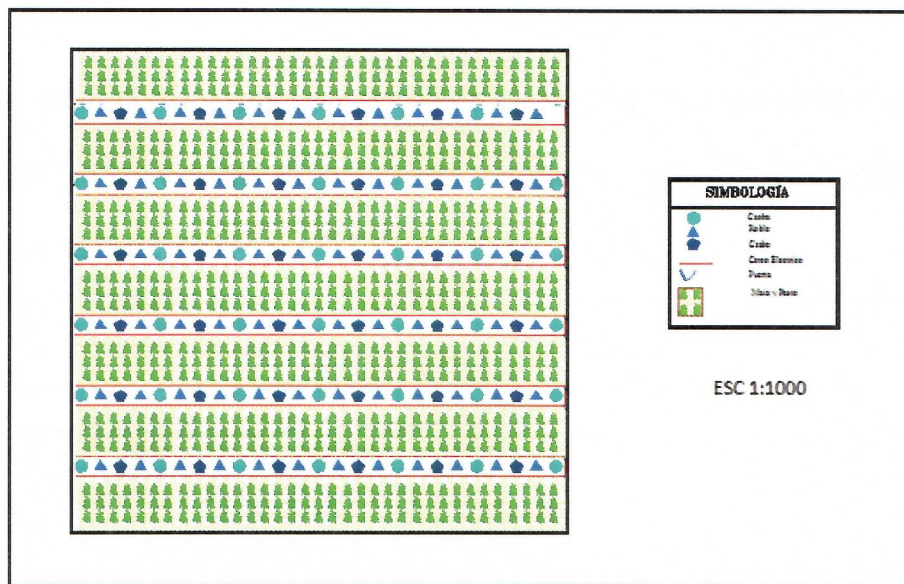


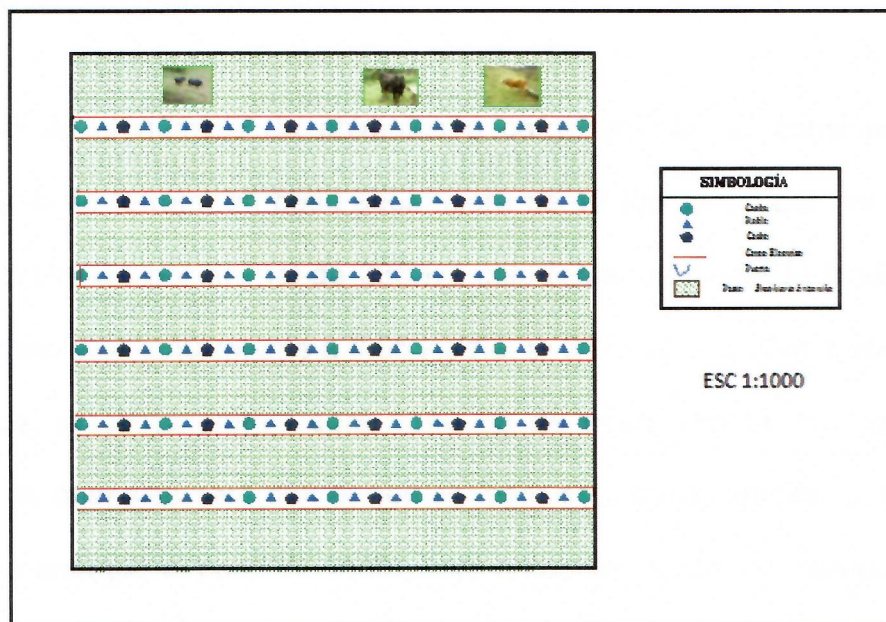
Figura 24. Diseño del Método Nezahualcóyotl en asociación de los componentes, utilizando el maíz para eliminar el pasto existente.

5.3.4.1. Esquema de explotación de la pradera

a) *Método de pastoreo rotativo.* El método de pastoreo será rotativo por lo que la superficie del área ganadera se dividirá en 7 franjas de igual superficie, como lo muestra la Figura 25. El número de franjas es para permitir hasta un esquema de 7/42, o sea, 7 días de ocupación o estadía de los animales en cada franja y 42 días de retiro o descanso, antes de recibir de nuevo animales.

Sin embargo, el control diario del pastoreo no será calendárico sino con base a la altura inicial y final del pasto, ya que el crecimiento del mismo no es igual a lo largo del año. La altura de entrada a una franja será cuando el pasto en la franja tenga una altura de 50 a 60 cm y el retiro una vez que los animales dejan el pasto a una altura de 7-10 cm, para ejercer este control se tendrá una regla graduada con proyección vertical referida como regla de pradera, con la que se mide la altura del pasto.

El tiempo de retiro considerando este criterio de alturas para la entrada y salida se espera que en las épocas de primavera-verano el esquema será 7/30 y en otoño-invierno de 7/42 días.



En todo momento que una franja tenga animales en pastoreo, se circundará con cerco eléctrico móvil, conformado por hilos electroplásticos o electropiolin; con ello se evitará; como ya se ha dicho, que los animales puedan dañar los árboles y que tengan acceso a otras franjas, controlando así la actividad de pastoreo mediante una cosecha homogénea.

b) Tipo y número de animales a usar en el área ganadera. El objetivo del área ganadera es que en base a pastoreo se cumpla con la fase de pre-engorde o media ceba, que consiste en iniciar con bovinos de 180-220 kg, para sacarlos a la venta de 350 kg. Con estos pesos y una ganancia diaria de peso entre 450 a 600 g, se espera que la fase de pre-engorde sea completa en 7 a 10 meses. El tipo de animales a tener será el común de la zona, que es un bovino cebuino con encaste de alguna raza europea.

Para estimar el número de animales o carga animal, se considera que el rendimiento de forraje, en base seca ligera de 12 toneladas por hectárea/año, el peso promedio por animal de 285 kg, con demanda diaria de forraje igual al 3% del peso vivo, equivalente a 8.55 kg/día y 3120 kg/año. Con base en estos supuestos, la carga animal será 1140 kg de peso vivo/ha; por lo tanto, el número de animales será con el que se logre esta carga animal. Conforme un animal se acerque al peso de venta, será entonces vendido y reemplazado por otro para que inicie la fase de pre-engorde, y así sucesivamente.

5.3.4.2. Manejo del hato ganadero

Al entrar al módulo los animales recibirán una aplicación única, vía subcutánea, de Bar – Vac[®] 10 Ways (BAYER), a razón de 2 mL/cabeza, con la finalidad de prevenir clostridiasis y pasteurelisis neumónica.

Como fuente adicional de minerales, en la dieta alimentaria del animal, se le suministrará una mezcla de sal mineral con Magnaphoscal (BAYER), a razón de 25 g/animal/día, Mineral Traza (BAYER), a 6 g/animal/día y 75 g de sal común, mezclando los productos y convirtiéndolos en un solo suplemento alimenticio, para la dieta diaria por animal durante su estadía. La dosis de Mineral Traza debe ser exacta, debido a que dicho mineral puede ser tóxico, de no aplicarse correctamente.

El control de parásitos pulmonares, gastrointestinales y externos, será con Baymec[®] - 1 % Hidrófolico (BAYER), a razón de 1mL/50 kg de peso en solución inyectable, que es un antiparasitario de amplio espectro.

Para cubrir la demanda por agua del animal, se usará un tinaco con capacidad de 450 L, el cual se conectará a bebederos de poliamida automáticos y de nivel constante, de 28x27x12 cm, conocidos también como bebederos de cucharón (Figura 26).



Figura 26. Tipo de bebedero para el consumo de agua por los animales.

El consumo de agua por animal se espera sea de 6.5 L/100 kg de peso, debido a que el forraje contiene humedad.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Características físicas

a) *Peso*. Se utilizaron semillas escarificadas para la caoba y sin escarificar en roble y cedro rojo, sólo eliminando sus alas. Los resultados en peso de 1,000 semillas, para las tres especies, se observan en el (Cuadro 10).

Cuadro 10. Peso de las semillas de las tres especies en estudio.

Especie	Peso de 1000 semillas (g)	Número de semillas/kg
<i>Swietenia macrophylla</i> King	342.50	2 921.84
<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol) DC	24.87	40 209.09
<i>Cedrela odorata</i> L.	10.56	94 696.97

b) *Pureza*. Las pruebas desarrolladas para la determinación de pureza, a través del método manual, tuvieron mejores resultados en la especie *Tabebuia rosea* (Bertol) DC. (Cuadro 11). El resto de la proporción corresponde a otros materiales o impurezas, tales como ramas, hojas, semillas rotas entre otras.

Cuadro 11. Porcentaje de pureza en las tres especies en estudio.

Especie	Pureza (%)
<i>Swietenia macrophylla</i> King	70.37
<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol) DC.	96.81
<i>Cedrela odorata</i> L.	81.14

c) *Contenido de humedad*. El contenido de humedad de las semillas en las tres especies, a peso anhidro, es mostrado en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Contenido de humedad de semillas en las tres especies.

Especie	Contenido de humedad (%)
<i>Swietenia macrophylla</i> King	10.80
<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol) DC	8.30
<i>Cedrela odorata</i> L.	8.74

d) *Viabilidad*. Los valores de viabilidad de las semillas puras de las tres especies se muestran en el Cuadro 13, donde se aprecian los altos índices obtenidos en las tres especies.

Cuadro 13. Prueba de viabilidad de 100 semillas por especie mediante el método de tinción con sal de tetrazolio al 1 %.

Especie	Viabilidad (%)
<i>Swietenia macrophylla</i> King	94
<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol) DC	96
<i>Cedrela odorata</i> L.	99

e) *Germinación de las semillas*

e.1.) *Prueba de germinación en cámara de ambiente controlado*. El Cuadro 14 muestra los porcentajes de germinación para las especies en estudio en cámara de ambiente controlado. La caoba mostró la máxima ($p < 0.05$), seguido por el cedro rojo y el roble. La temperatura pudo tener un efecto sobre la germinación. Asimismo, lo anterior puede denotar diferencias de calidad entre lotes de semillas de las diferentes especies.

El menor porcentaje de germinación, en roble y cedro rojo, puede atribuirse al bajo contenido de humedad de las semillas y posiblemente al manejo de almacenamiento de ellas en el laboratorio, previo a su utilización.

Cuadro 14. Porcentaje de germinación de las especies arbóreas en cámara de ambiente controlado con 28/24 °C día/noche y 12 h de luz.

Repetición	<i>Swietenia macrophylla</i> King	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol) DC.	<i>Cedrela odorata</i> L.
1	86	33	54
2	76	33	62
3	82	51	53
4	60	34	47
Promedio*	76.00a	37.75c	54.00b

Nota: Medias de 4 repeticiones para caoba, roble y cedro rojo. Letras iguales no muestran diferencia mínima significativa ($\alpha=0.05$).

En la Figura 27 se aprecia la germinación máxima alcanzada en las tres especies, después de realizada la siembra, siendo: a los 29 días para la caoba, en roble y cedro rojo, a los 24 días. En las semillas de caoba, la germinación inicia a los 15 días —de forma tardía— con respecto al roble y cedro rojo, que germinaron a los 7 días, después de la siembra.

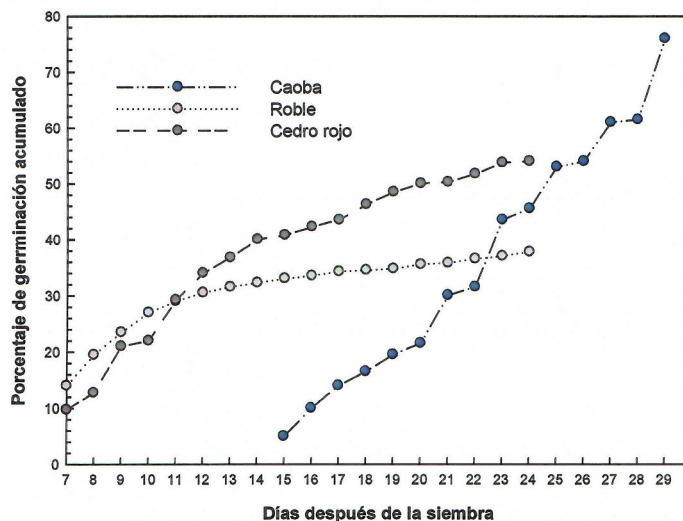


Figura 27. Germinación acumulada de las especies arbóreas en cámara de ambiente controlado con régimen de temperatura de 28/24 °C día/noche y fotoperiodo de 12 h.

e.2.) Prueba de germinación por especie a temperatura ambiente. El Cuadro 15 muestra la germinación encontrada en las especies en estudio, cuando a las semillas se les dieron diferente tratamiento de inmersión. En caoba, la máxima germinación (40.28 %) se observó cuando las semillas se remojaron en agua de coco tierno, seguido de la inmersión en agua destilada. El agua de coco, a mayor madurez, no logró mejoría en la germinación; posiblemente debido al aumento de aceite del agua que se presenta conforme avanza la maduración del fruto.

En roble, la máxima germinación se dio con la inmersión en agua de coco tierno o en agua destilada (ver Cuadro 15). Las semillas de cedro rojo, mostraron un patrón de respuesta idéntico a las de roble; dado que la máxima germinación se alcanzó con agua de coco tierno y agua destilada, sin que haya habido diferencia significativa.

Cuadro 15. Porcentaje de germinación de las especies en estudio, según el tratamiento de inmersión.

Tratamiento	Especie	Porcentaje de germinación (%)
T ₀	Caoba	13.19 ^{ba}
T ₁		40.28^a
T ₂		18.06 ^{ba}
T ₃		4.17 ^b
T ₄		28.47 ^{ba}
	Roble	
T ₀		12.25 ^b
T ₁		31.75^a
T ₂		17.75 ^b
T ₃		15.50 ^b
T ₄		31.75^a
	Cedro rojo	
T ₀		21.75 ^b
T ₁		30.75^a
T ₂		17.75 ^b
T ₃		4.75 ^c
T ₄		32.00^a

Nota: Medias de tres repeticiones para caoba y cuatro para roble y cedro rojo. Letras iguales no muestran diferencia mínima significativa ($\alpha=0.05$). T₀ sin inmersión; T₁ agua de coco tierno; T₂ agua de coco socato; T₃ agua de coco seco y T₄ agua destilada.

Para las tres especies en estudio, la inmersión de las semillas en agua de coco tierno, mejoró la germinación (Cuadro 15 y Figura 28); esto puede ser indicativo del efecto de las citoquininas que contiene dicha agua que estimulan la división celular, movilización de nutrimentos, rompimiento de la dormancia en brotes y la germinación de semillas (Taiz y Zeiger, 1998).

La germinación, en todos los casos, puede considerarse baja; y esto a su vez, pudo ser consecuencia de que la temperatura de 20 °C, a la que se sometieron las semillas durante el proceso de germinación, fue baja en comparación a la

temperatura ambiental, en la que normalmente se desarrollan estas especies arbóreas tropicales.

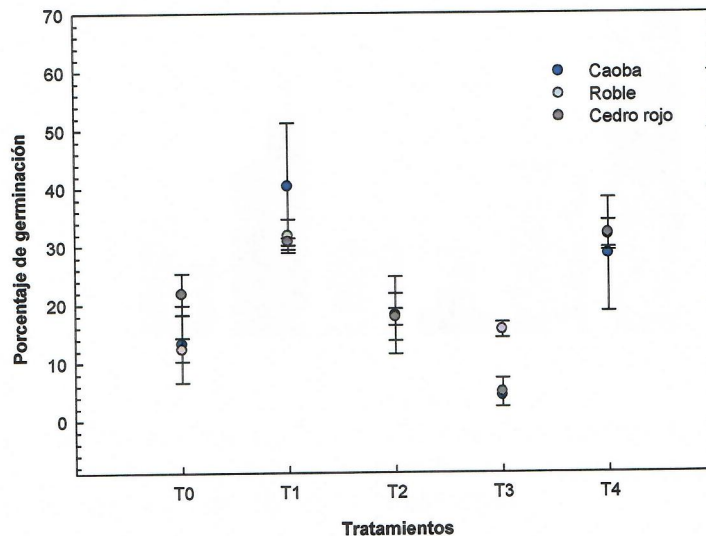


Figura 28. Gráfica que muestra los porcentajes de germinación obtenidos de las tres especies en estudio.

Nota: Los valores puntuales representan la media de tres repeticiones para caoba y cuatro para roble y cedro rojo respectivamente. Las barras son la magnitud de error estándar correspondiente. T₀ sin inmersión; T₁ agua de coco tierno; T₂ agua de coco socato; T₃ agua de coco seco y T₄ gua destilada.

6.2. Comparación de germinación de semillas en las tres especies a temperatura ambiente y en cámara de ambiente controlado

La germinación en todas las especies fue mayor con la cámara de ambiente controlado que a temperatura ambiente (Figura 29); esto quizás debido a que en la cámara, la temperatura fue más cercana a la del hábitat natural de las especies; y este posible efecto de la temperatura ambiental, no fue compensado con la escarificación por inmersión, ni en agua de coco tierno o agua destilada.

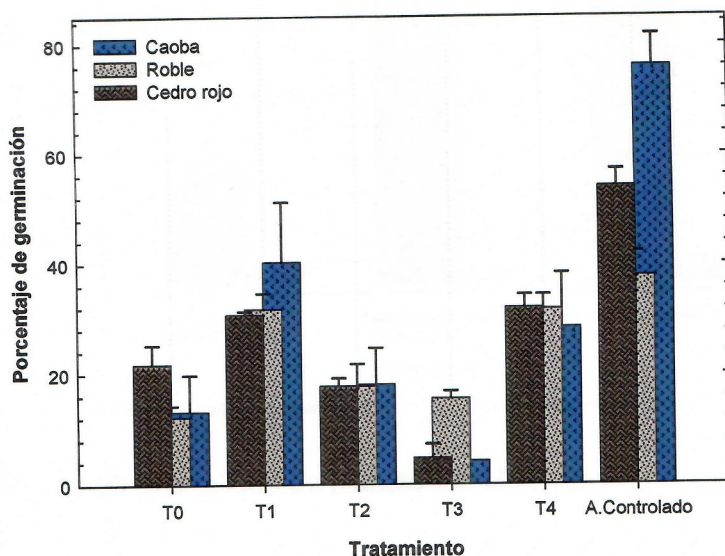


Figura 29. Germinación en tres especies arbóreas con semillas tratadas por inmersión y a temperatura ambiente, y semillas en cámara de ambiente controlado con temperatura de 28/24 °C (día/noche).

Nota: Medias de tres repeticiones para caoba y cuatro para roble y cedro rojo. Las barras indican el error estándar correspondiente.

6.3. Porcentaje de mortalidad de las plantas, por especie, en el vivero

El porcentaje de fallas o mortalidad obtenida a través del método de conteo directo, en las tres especies, no fue significativo; puede considerarse casi nulo (Cuadro 16 y Figura 30).

Cuadro16. Porcentaje de mortalidad en vivero de las especies estudiadas.

Especies	Total de plantas trasplantadas	Mortalidad en el vivero (%)
<i>Swietenia macrophylla</i> King	148	6.75
<i>Tabebuia rósea</i> (Bertol) DC	436	2.06
<i>Cedrela odorata</i> L.	428	1.16

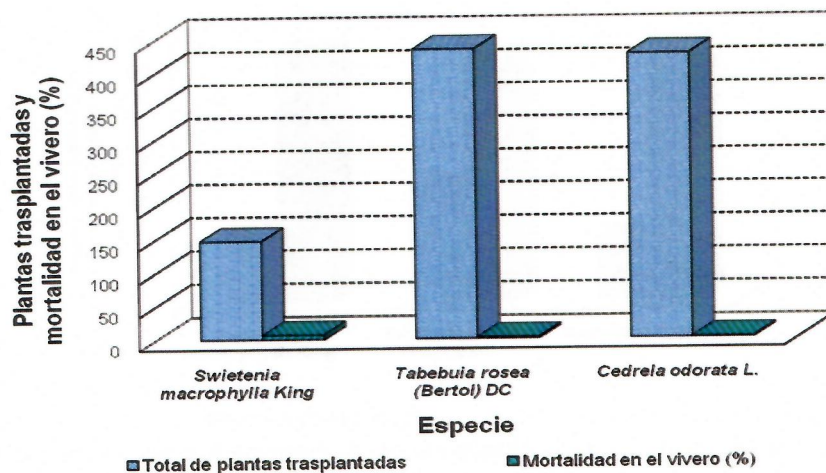


Figura 30. Mortalidad de plantas trasplantadas en el vivero.

6.4. Porcentaje de supervivencia de plantas en campo

El porcentaje de supervivencia de las especies en estudio, después de cuatro meses de plantadas, se muestra en el Cuadro 17 y Figura 31, donde se aprecia que todas las especies tienen valores altos, a pesar de haber sido plantadas a finales del verano (21/09/08), fecha en que las alturas de la precipitación bajan sustancialmente en lugar.

Cuadro 17. Porcentaje de supervivencia de plantas por especie, a cuatro meses de plantadas.

Especie	Número de plantas vivas	Porcentaje
<i>Swietenia macrophylla</i> King	28	93.3
<i>Tabebuia rosea</i> (Berto) DC	42	91.3
<i>Cedrela odorata</i> L	23	88.46

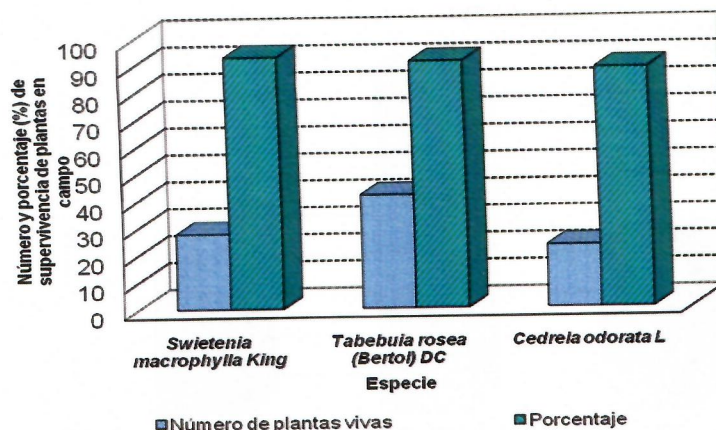


Figura 31. Porcentaje de supervivencia de las plantas por especie, en el campo a cuatro meses de plantadas.

6.5. Altura promedio de plantas en campo

Como puede observarse, las alturas de las tres especies, son relativamente pequeñas, debido al tiempo disponible para su establecimiento (Figura 32). Como un dato adicional, se referencian los incrementos correspondientes; dado que, se determinaron las alturas promedios, al momento de la plantación: caoba = 5.75 cm; roble = 4.65 cm y cedro rojo = 5.15 cm; por tanto, los incrementos obtenidos son: caoba (0.28 cm), roble (0.77 cm) y cedro rojo (1.55 cm). Puede observarse (Figura 33 y cuadro 18) que el mayor incremento lo presenta el cedro rojo.

Cuadro 18. Altura promedio de las plantas por especie, después de cuatro meses de plantadas.

Especie	Número de plantas con vida	Altura promedio (cm)
<i>Swietenia macrophylla King</i>	24	6.03
<i>Tabebuia rosea (Bertol) DC</i>	43	5.52
<i>Cedrela odorata L.</i>	21	6.70

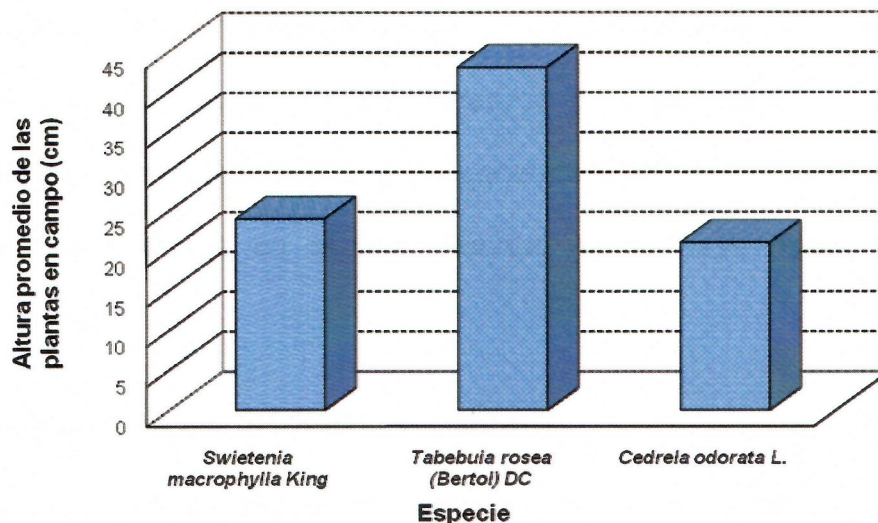


Figura 32. Altura promedio de las plantas en el campo.

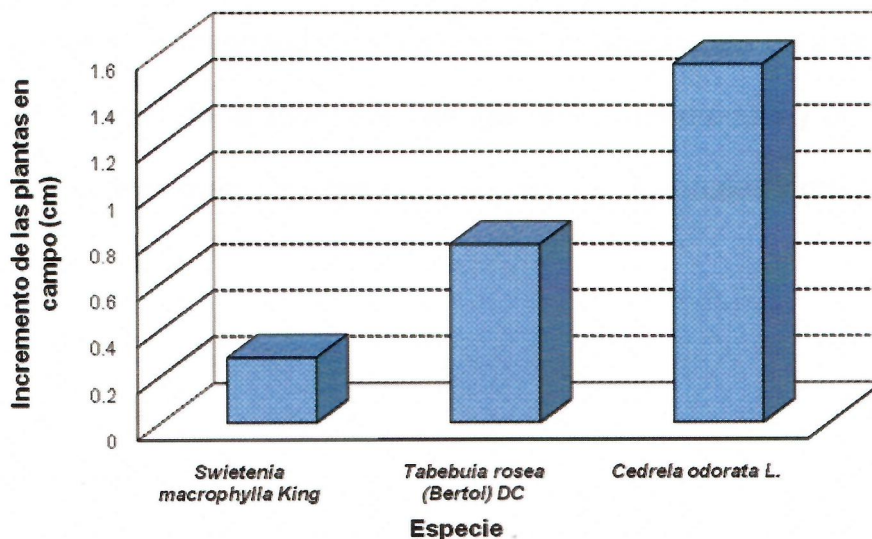


Figura 33. Gráfica del incremento en cm de las plantas por especie, después de cuatro meses de ser plantadas en el campo.

La alta supervivencia registrada en el campo, de las tres especies en estudio, puede ser un reflejo de las ventajas del Método Nezahualcóyotl, como son: la remoción completa de la tierra donde se plantan, la captación y retención del agua de lluvia, que originan un mejor aporte de humedad a las plantas, reduciendo el riesgo de deshidratación de las mismas.

Al momento de la evaluación, la ubicación geográfica y la altitud del terreno, aparentemente no fueron factores negativos para las plantas, en cuanto a supervivencia se refiere, dado que los porcentajes de mortalidad fueron bajos para las tres especies en estudio. Aunque no se haya hecho el análisis estadístico respectivo.

6.6. Área ganadera del módulo silvopastoril

En el Cuadro 19 se presentan las actividades y magnitud de insumos requeridas para el área ganadera del módulo con el Método Nezahualcóyotl. Las actividades y la magnitud de insumos están adecuadas para la superficie de 2,753.65 m², siendo la superficie real ganadera del módulo y considerando las dosis respectivas mencionadas en la sección de materiales y métodos.

Cuadro 19. Actividades y magnitud de insumos para el área ganadera del módulo silvopastoril en el Método Nezahualcóyotl.

Actividad/insumo	Unidad de medida	Cantidad
Terreno	m ²	2753.65
Franjas	m ²	7
Hilo electrolástico o electropiolin	m ²	87.6
Carga animal en peso vivo	kg	313.91
Carga animal	Cabeza/kg/ha	1.1
Ocupación/franja	días	7
Retiro primavera-verano	días	30
Retiro otoño-invierno	días	42
Ganancia en peso diario	g	450-600
Fecha inicial de pastoreo	mes	junio
Rendimiento de forraje en base seca	Ton	4
Peso promedio por animal	kg	285
Altura del pasto de entrada por franja para los animales	cm	50-60
Altura del pasto al retiro de los animales en la franja	cm	7-10
Fertilización del pasto con urea	kg/año	10

6.7. Costos de establecimiento del Método Nezahualcóyotl en el sistema

silvopastoril de ladera

Mediante el Método Nezahualcóyotl se puede permitir implementar alternativas de agroforestería, que pueden obtener beneficios que no se logran con estrategias de uso de la tierra por monocultivos.

El Método Nezahualcóyotl promueve la asociación de árboles con pasto, ya que de esta forma se aprovecha y promueve el efecto positivo de los árboles sobre enriquecimiento del suelo, sombra, control de erosión; además de los productos forestales propiamente como madera, leña y resinas, entre otros.

El componente pasto, aprovecha este ambiente favorable provisto por el árbol, mientras que ofrece alimentos para el ganado, que a su vez es un generador de materia orgánica fácilmente degradable para mantener el reciclaje de minerales dentro de la asociación.

Los costos principales del establecimiento del Método Nezahualcóyotl, en este sistema silvopastoril, constituidos por el componente forestal y el animal (Cuadro 20), se agrupan en tres actividades: preparación del terreno; establecimiento de la plantación forestal y el del pasto.

Los egresos estimados para este método en 1/3ha, es de \$ 42,671.51 pesos (Cuadro 21). Considerando que el pasto *Paspalum convexum* será reemplazado por *Brachiaria brizantha*, además de adquirir los materiales y herramientas por primera vez. Es importante determinar relación Costo-Beneficio para determinar factibilidad.

**Cuadro 20. Calendario de actividades de los componentes en el Método
Nezahualcóyotl en un sistema silvopastoril de ladera en 1/3 ha.**

Cultivo/actividad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Años
Caoba, Roble y Cedro rojo													
ESTABLECIMIENTO DE LA PLANTACIÓN													
Preparación del terreno									*				1
Trazo de curvas o interlineado									*				1
Construcción de curvas o zanjas									*				1
Trazo de plantación									*				1
Apertura de cepas									*				1
Transporte de plantas									*				1
Distribución de plantas									*				1
Plantación									*				1
Replante									*				1
MANEJO													
Fertilización						*							1 a 3
Control de malezas o limpias		*				*				*			1 a 3
Control de plagas y enfermedades				*	*	*							1-5
Podas ***				*	*								5 y 10
Aclareos ***				*	*								1 a 20
Brecha cortafuegos				*	*								1
Cercado***			*										18 y 25
Cosecha***				*									1
Plantación						*							1
Replante							*						1
MAÍZ													
Preparación del terreno					*								1
Siembra					*								1
Control de malezas o limpias					*								1
Fertilización						*							1
Control de plagas y enfermedades						*	*	*					1
Cosecha										*			1
Brachiaria brizantha													
Preparación del terreno			*	*									1
Implementación o siembra						*							1
Fertilización						*	*	*	*	*			1
Introducción del ganado											*		1
MANEJO DEL HATO													
Adquisición y transporte de animales											*		1
Vacunación											*		1
Desparasitación											*		1
Mineralización	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Todos los días
Pastoreo						*							1
Establecimiento de cercado		*	*	*									1
Limpia de pasto y mantenimiento de cerca	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1al 25
Asistencia Técnica	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Todo el año

Nota: Por el distanciamiento y densidad de la plantación sólo se realizará un aclareo al 20 % a los 10 años de edad para la caoba; en el año 1 y 2 se efectuarán prácticas de poda. El turno de corta será a los 25 años.

** Por el distanciamiento y densidad de la plantación sólo se realizará un aclareo al 20 % a los 5 años para Roble y Cedro rojo; del año 1-5 se harán prácticas de poda. El turno de corta será a los 18 años.

Cuadro 21. Egresos del Método Nezahualcóyotl en un sistema silvopastoril de ladera en 1/3 de hectárea.

Actividad/insumos	Unidad de Medida	Cantidad	Precio (\$)	Total (\$)
PREPARACIÓN DEL TERRENO				
Chapeo	Jornal	2	110.00	220.00
TRAZO DE CURVAS O INTERLINEADO				
Cinta métrica (50 m)	M	2	163.00	326.00
Construcción de curvas	Jornal	30	110.00	3,300.00
Pala	Pieza	14	107.83	1,509.62
Pico	Pieza	6	140.87	845.22
Azadón	Pieza	7	184.00	1,288.00
Machete	Pieza	2	59.00	118.00
Barreta	Pieza	1	220.70	220.70
Estadale aluminio de 5 m	Pieza	1	575.00	575.00
Clinómetro y brújula Suunto	Pieza	1	4,250.00	4,250.00
TRAZO DE PLANTACIÓN: CAOBA, ROBLE Y CEDRO ROJO				
Adquisición de plantas de Caoba-Roble-Cedro rojo	Unidad	104	5.00	520.00
Transporte y distribución de plantas	Unidad	1	450.00	450.00
Apertura de cepas y plantación de Caoba-Roble-Cedro rojo	Jornal	5	110.00	550.00
Semillas de <i>Brachiaria brizantha</i>	Kg	4	140.00	560.00
Siembra de semilla pasto: Es gratis la mano de obra por el aparcerario				
FERTILIZACIÓN				
Urea para pasto	Kg	10	14.00	140.00
HATO				
Adquisición de animal	Kg	200	20.00	4,000.00
Transporte de animales	Kg	200	5.00	1,000.00
VACUNACIÓN				
BAR-VAC® 10 WAYS (BAYER)	MI	2	11.40	22.80
DESPARASITACIÓN				
BAYMEC®- 1% HIDROFÍLICO (BAYER) 500 ml	MI	4	183.96	735.84
MINERALIZACIÓN				
MAGNA PHOSCAL (BAYER) 5kg	Kg	1	38.60	38.60
MINERAL TRAZA BOVINOS (25+5 kg)	Kg	1	65.60	65.60
Sal común	Kg	150	4.70	705.00
CERCADO				
Estantes	Pieza	140	6.00	840.00
Alambre púas 34 kg	Rollo	14	761.74	10,664.36
Grapas p/ alambre de puas	Kg	3	35.65	106.95
Pinzas	Pieza	1	97.00	97.00
Hilo electroplástico o Electropiolin de 250 m	Rollo	1	40.62	40.62
Cinta electroplástico	M	90	2.48	223.20
Electrificador para batería	Pieza	1	4,500.00	4,500.00
Postes plástico cada 5 m	Pieza	18	65.00	1,170.00
Batería de carro	Unidad	1	960.00	960.00
Ahoyado y cercado	Jornal	3	110.00	330.00
MATERIALES PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA				
Tinaco Platinak de 450 L	pieza	1	674.00	674.00
Manguera de jardín ¾"	m	70	15.00	1,050.00
Llave de paso ¾"	pieza	1	51.00	51.00
Espiga ¾"	pieza	1	24.00	24.00
Bebedero cuchara	pieza	1	500.00	500.00
TOTAL				42,671.51

7. CONCLUSIONES

El Método o Sistema Nezhualcóyotl puede aceptarse como un modelo de producción novedoso, para el establecimiento de plantaciones forestales, en terrenos con fuertes pendientes, cuando la vegetación dominante sea pasto, dado que la supervivencia de *Swietenia macrophylla* King (caoba), *Tabebuia rosea* (Bertol) DC (roble) y *Cedrela odorata* L. (cedro rojo), se considera alta.

El Método Nezhualcóyotl puede ser una magnífica técnica en sistemas agroforestales establecidos en laderas, dado que corta el flujo del escurrimiento superficial, mediante la construcción de bordos y zanjas sobre curvas a nivel.

El agua de coco tierno favorece la germinación de las semillas de caoba, en inmersión, no así el agua de coco seco.

La germinación de las semillas de caoba, roble y cedro rojo, se ve incrementada, cuando se someten a inmersión, simplemente, en agua destilada.

El agua de coco, no mejora el porcentaje de germinación en las semillas de *Tabebuia rosea* y *Cedrela odorata*, en comparación con el agua destilada.

8. LITERATURA CITADA

- Árboles de Centro América. Recuperado el 7 de junio de 2008 de herbaria.plants.ox.ac.uk/adc/downloads/capitulos_especies_y_anexos/swietenia_macrophylla.pdf. OFI-CATIE. 904 p.
- CONAFOR. Gerencia del Programa Nacional de Reforestación/Gerencia de Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales. Número 6
Fecha de Publicación: Del 15 al 28 de febrero de 2005. Recuperado el 10 de agosto de 2008 de www.mexicoforestal.gob.mx/nuestros_arboles.php.
- Barrosa-Cárdenas, J.T. et al 1992. Producción de planta y establecimiento de plantaciones de Caoba en el Estado de Tabasco. SARH-INIFAP. Centro de Investigación Regional del Golfo Centro Folleto técnico No. 13 Tabasco, México. 25p.
- Budowski, G. 1987. Living fence in tropical America, a widespread agroforestry practice. In. H.L. Gholz (Ed). Agroforestry: realities, possibilities and potentials. Martinus Nijhoff publishers and ICRAF. 31-45 p. Dordrecht, the Netherlands. pp. 169-178.
- CATIE. 1986. Sistemas Agroforestales. Principios y Aplicaciones en los Trópicos. San José, Costa Rica. 818p.
- Cedrela odorata* L. Publicado en: *Systema Natura*, Edition 10: 940. 1759. Recuperado el 7 de junio de 2008 de http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/36-melia2m.pdf.

- CONABIO. 2001. Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Instituto de ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. 263 p.
- CONAFOR, CONABIO, SIRE. 2005. *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. Recuperado el 8 de junio de 2008 de <http://www.conafor.gob.mx/portal/docs/secciones/reforestacion/Fichas%20Tecnicas/Tabebuia%20rosea.pdf>.
- Cruz-Loaeza, M. 2002. Monografía de *Cedrela odorata* L. In Musalen, M. A. Curso de Agroforestería. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 72p.
- Escoto-Prado, J. C. 1996. Respuesta de la regeneración natural de Caoba (*Swietenia macrophylla* King) a diferentes intensidades de corta. 66p.
- Franco-Islas, M. G. 1999. Monografía de *Cedrela odorata* L. In Musálem, M. A. Curso de Agroforestería. División de Ciencias Forestal en México, Vol. 11, núm. 60. 176p.
- García, E. 1984. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. Instituto de Geografía. UNAM. México, D.F. 253p.
- Geilfus, F. 1989. El árbol al servicio del agricultor; manual de agroforestería. Para el desarrollo rural. Vol. 2: Guía de especies. Santo Domingo. Enda-Caribe y CATIE. 377 p.
- Glogiewicz, J. 1998. Árboles útiles de la Región Tropical de América del Norte. Comisión Forestal de América del Norte. No 3. 117-137p.
- Gordillo-López, E. 2000. Evaluación de la regeneración natural de Cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) y Caoba (*Swietenia macrophylla* King) En la Zona

- Maya de Quintana Roo. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 97 p.
- Hernández, A.H. 1988. Manual técnico de producción de planta y establecimiento en plantación de *Cedrela odorata* L. Universidad Veracruzana y Gobierno del Estado de Veracruz. México. 28 p.
- INFOAGRO. El cultivo de coco (1ª parte). Recuperado el 6 de junio de 2008 de http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/coco.htm.
- INFOAGRO. El cultivo de coco (2ª parte). Recuperado el 6 de junio de 2008 de http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/coco.htm.
- INN. 1999. Instituto Nacional de Nutrición. Tabla de composición para uso práctico. Serie de Cuadernos Azules. Caracas, Venezuela. Publicación N° 52. p 72-73.
- International Seed Testing Association (ISTA). 1996. International rules for seed testing. Supplement Rules. Seed Science and Technology. Vol. 24. 335 p.
- Jonhson, L. C. 1987. Soil tolerance: Factor? Journal of Soil & Water Conservation. 42:155-160.
- Lamprecht, H. 1990. Silvicultura en los trópicos. Dr. Antonio Carrillo. Editorial GTZ, República Federal de Alemania. 303-305p.
- Las Mejores Maderas de Guatemala. Caoba de Petén, *Swietenia macrophylla* King Recuperado el 8 de junio 2008 de <http://www.petexbatun.net/es/caoba.html>.
- Licon, V. A. 1982. Descripción y análisis de los suelos del terreno del centro regional. Huatusco, CRUO. Huatusco, Ver. México. 60 p.

- López-Sánchez, E. 2004. Manual para el diseño, establecimiento y manejo de los principales sistemas agroforestales con Cedro rojo, Cedro Nogal, y primavera en la región de los Tuxtlas, Veracruz. Tesis de Maestría. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo, México. 255 p.
- López-Tecpoyotl, G. 1992. Responsable de la ficha. Sistemas agroforestales. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. Recuperado el 29 de Junio de 2008 de www.sagarpa.gob.mx/desarrollorural/publicaciones/fichas/listafichas/A-08-1.pdf.
- Martínez D., M. P., Musálem C.K., Pérez L.H., Musálem M.A. 2006. Guía silvicultural de Maculís (*Tabebuia rosea* (Bertol)) DC.- Árbol tropical de uso múltiple en México. Sección I Árboles de la región tropical húmeda. Especies nativas. Programa Nacional de Investigación sobre Sistemas Agroforestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Centro. Campo Experimental Valle de México. El Horno, Chapingo. pp. 1-4, 8-11, 18.
- Martínez-Domínguez, M. 1997. Monografía de *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. In MUSALEM, M. A. Apuntes del Curso de Árboles y Arbustos de uso Múltiple. Programa de Maestría en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. Universidad Autónoma Chapingo, México. 18 p.
- Montgomery, D. 2007. Diseño y análisis experimental. 2ª ed. Editorial Limusa. México. 140-141 p.

- Musálem S., M. A. 2002. Silvicultura de Plantaciones Forestales Comerciales. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 176 p.
- Musálem S., M.A. 2001. Sistemas Agrosilvopastoriles. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 3p.
- Nair P., K.R. 1997. Agroforestería. L. Krishnamurty (ed.). UACH. Chapingo, México. 543 p.
- Norma Oficial Mexicana (NOM-021-RECNAT-2000). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis. 85 p.
- OFI-CATIE. Árboles de Centroamérica. *Cedrela odorata* L. Recuperado el 8 de junio de 2008 de http://herbaria.plants.ox.ac.uk/adc/downloads/capitulos_especies_y_anexos/cedrela_odorata.pdf.
- OFI-CATIE. Árboles de Centroamérica. *Swietenia macrophylla* King. Recuperado el 8 de junio de 2008 de http://herbaria.plants.ox.ac.uk/adc/downloads/capitulos_especies_y_anexos/swietenia_macrophylla.
- OFI-CATIE. Árboles de Centroamérica. *Tabebuia rósea* (Bertol.) DC. Recuperado el 8 de junio de 2008 de http://herbaria.plants.ox.ac.uk/adc/downloads/capitulos_especies_y_anexos/tabebuia_rosea.pdf.
- Osorio R., L.E. 1982. Monografía sobre el género *cedrela*. Medellín, Colombia. 100 p.
- Ovalle, J. F., León L. A., Vielma R. A., Medina A. 2002. Determinación del contenido de aminoácidos libres del agua de coco tierno por HPLC y revisión electrónica sobre la nueva tecnología para el envasado del

agua de coco. Revista de la Facultad de Farmacia, Universidad de los Andes. Mérida, R. B. de Venezuela. 44:70-78.

Pennington, T.D., Sarukhán, J. 1998. Árboles Tropicales de México. 2da Edición. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, México, D. F. 238 p.

Pérez, P. E. y Robledo D. 1996. El jardín botánico natural del Centro Regional Universitario Oriente. Revista de Geografía Agrícola Núm. 22-23. R. Paczka. Compilador. Dirección de Centros Regionales. UACH. Chapingo, Méx. Pp. 171-176.

Pérez-Cruz, G. U., Chacón-Espinosa J. C. 1994. Potencial forestal en el trópico húmedo mexicano, una alternativa para el desarrollo económico; Características botánicas y agroecológicas de las principales especies forestales para plantaciones forestales en el trópico húmedo de México. Proyecto para el establecimiento de una plantación en Teapa, Tabasco.

Pérez-López, H. 2001. Monografía de *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. In MUSALEM, M. A. Apuntes del Curso de Árboles y Arbustos de Uso Múltiples. Programa de Maestría en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. Universidad Autónoma Chapingo. México. 30 p.

Pérez-Pérez, J.R. 2004. Colecciones ex situ de la Universidad Autónoma Chapingo en Huatusco, Ver. Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional Universitario Oriente. México. 126 p.

- Pimentel B., L. 1987. La preparación Manual del terreno con fines Forestales. Folleto, serie de apoyo académico No. 29. Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales. México. pp. 12-13.
- Prieto R., J. A., Sánchez V.A. 1987. Guía básica de la reforestación. Folleto. Programa Nacional de Reforestación, Subsecretaría Forestal. Universidad Autónoma Chapingo. México. pp. 75.
- RED MEXICANA DE GERMOPLASMA FORESTAL No. 2. 1999. Guía para la manipulación de semillas forestales con especial referencia a los trópicos. Compilado por R. L. William para el Centro de las Semillas Forestales DANIDA. SEMARNAP, PRONARE. 66 p.
- Redmon, A. L. 1999. Conservación del recurso suelo en tierras usadas para pastoreo. En: Memorias tercer taller, conservación y uso de los recursos naturales y comercialización de bovinos de carne. Pag. 11-16.
- Rojas-Morales, G. 1995. Experiencias de plantación comercial de *Cedrela odorata* L. en sistemas agroforestales en la Región de los Tuxtlas, Veracruz. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 114 p.
- Said-Infante, G.y Zarate de Lara G.P. 2007. Métodos estadísticos, un enfoque interdisciplinario. Trillas. México. 426-448 p.
- Sandoval-Flores, J. A. 1995. Influencia de la densidad de siembra en vivero a raíz desnuda y tipo de empaque sobre una plantación de *Cedrela odorata* L. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 111 p.

- SAS Institute Inc. (1989). SAS/ATAT® User's Guide. Version 6, Cary, NC: SAS Institute Inc., pp. 209-243.
- SEMARNAT. Gaceta de la Red Mexicana de Germoplasma Forestal número dos, marzo-junio. 1999. Fichas técnicas de especies estratégicas. Ficha No. 4. pp. 59-62.
- SEMARNAT. Gaceta de la Red Mexicana de Germoplasma Forestal número tres, agosto-octubre. 1999. Fichas técnicas de especies estratégicas. Ficha No. 7. pp. 31-33.
- Sosa-Jarquín, L. 1997. Evaluación de plantaciones de Cedro (*Cedrela odorata* L.) y Caoba (*Swietenia macrophylla* King) en sistemas agroforestales en el área de bosque modelo, Calakmul, Campeche. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 106 p.
- SPSS Inc. (2000). *Sigma Plot® 2000 User's Guide*. Chicago: SPSS Inc.
- Taiz, L. and E. Zeiger. 1998. Plant physiology. Massachusetts: Sinauer Associates, Inc., Publishers. 792 p.
- Torquebiau, E. 1990. Los conceptos de la Agroforestería: Una introducción. ICRAF, Nairobi, Kenya. 45 p.
- Torquebiau, E. 1993. Conceptos de Agroforestería: una introducción. Ed. Por J. A., Leos, R. y L., Krishnamurthy. Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 92 p.

UACH Departamento de suelos, Laboratorio Central Universitario. Julio 3 del 2008, Expediente: VII/ 2008. Resultados de análisis de suelo, procedencia: Huexotla, San Bernardino, Texcoco.

Webb, D.B., Smith P.J., Henman G. S. 1984. A Guide to species selection for tropical and subtropical plantations. Tropical Forestry Paper No. 15. Second edition. Unif of Tropical Silviculture. Commonwealth Forestry Institute University of Oxford. (England) s/p.

9. APÉNDICE

Cuadro 22. Análisis de varianza del porcentaje de germinación de semillas en la caoba.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F ₀	Pr>F
Tratamientos	4	2340.86	585.21	2.63	0.1140
Bloques	2	36.50	18.25		
Error	8	1780.64	222.58		
Total	14	4158.01			

$\alpha=0.05$

Cuadro 23. Análisis de varianza del porcentaje de germinación en las semillas de roble.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F ₀	Pr>F
Tratamientos	4	1381.20	345.30	11.22	0.0005
Bloques	3	74.80	24.93		
Error	12	369.20	30.76		
Total	19	1825.20			

$\alpha=0.05$

Cuadro 24. Análisis de varianza del porcentaje de germinación en semillas de cedro rojo.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F ₀	Pr>F
Tratamientos	4	1961.80	490.45	22.34	<0.0001
Bloques	3	55.60	18.53		
Error	12	263.40	21.95		
Total	19	2280.80			

$\alpha=0.05$

Cuadro 25. Análisis de varianza del porcentaje de germinación de semillas en ambiente controlado.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F ₀	Pr>F
Tratamiento	2	2948.16	1474.08	17.91	0.0007
Error	9	740.75	82.30		
Total	11	3688.91			