

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

Evaluación de la regeneración del haya (*Fagus grandifolia* Ehrh. ssp. *mexicana* Martínez), en el ejido "La Mojonera", Zacualtipán, Hidalgo

TESIS PROFESIONAL

Que como requisito parcial
para obtener el Título de

INGENIERO EN RESTAURACIÓN FORESTAL

Presenta:

POLICARPO LÓPEZ LÓPEZ

Chapingo-Texcoco, Estado de México Diciembre de 2003



Esta tesis titulada Evaluación de la regeneración de haya (*Fagus grandifolia* Ehrh. ssp. *mexicana* Martínez), en el ejido "La Mojonera", Zacualtipán, Hidalgo, fue realizada por Policarpo López López, bajo la dirección del Dr. Baldemar Arteaga Martínez, y la asesoría del Dr. Carlos Cántora González. Ha sido revisada y aprobada por el siguiente Comité y Jurado examinador, para obtener el Título de:

Ingeniero en Restauración Forestal

Presidente

Dr. Baldemar Arteaga Martínez

Secretario

Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo

Vocal

Ing. Reyes Bonilla Beas

Suplente

M. C. Enrique Guízar Nolazco

Suplente

M. C. Javier Santillán Pérez

Chapingo, Texcoco, Estado de México, Diciembre de 2003.

AGRADECIMIENTOS

Al pueblo de México, que, a través de la Universidad Autónoma Chapingo, me brindó la oportunidad de concluir mis estudios de Licenciatura.

A todos los profesores de la Universidad Autónoma Chapingo, por brindarme los conocimientos y las bases técnicas para mi desempeño Profesional.

Al Dr. Baldemar Arteaga Martínez, por su constante apoyo en la realización de este trabajo.

Al Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo, Ing. Reyes Bonilla Beas, M.C. Enrique Guizar Nolasco, Dr. Carlos Cántora González y M.C. Javier Santillán Pérez, por las valiosas sugerencias en el desarrollo de esta investigación.

A los Ingenieros Ramón Razo Zárate y Alfredo Aguilar Martínez facilidades brindadas durante la toma de datos de campo.

A las autoridades del ejido “La Mojonera” por las facilidades y el apoyo brindado para la realización de este investigación.

A mis compañeros Mario Castelán Lorenzo y Martín Nogales Bautista, por la desinteresada ayuda que me brindaron en la toma de datos durante la fase de campo.

Al señor Jesús Hernández, quien nos ayudó en el recorrido y reconocimiento del área de estudio.

A todos los que colaboraron de alguna manera para la realización de este proyecto.

DEDICATORIA

Al más grande de los Reyes, Jesucristo, quien, por su misericordia y amor, murió por cada habitante de esta tierra y por darme la oportunidad de conocer el Camino, la Verdad y la Vida.

A mis Padres: Moisés López Hernández (+) y Marcelina López García (+), porque a través de ellos conocí la Vida.

A mis Hermanos: Paulino, Susana, Filemón y Eva, por el gran cariño y apoyo que me han brindado.

A mis Tíos: Eusebio Ramón López Hernández y Margarita López Hernández, con quienes siempre he contado.

A mis cuñadas María Del Carmen Fernández Ruiz y Cristal, en quienes he encontrado una amistad sincera.

A la Familia Rojas Aragón, en especial a Santos, por la amistad y los consejos que me han brindado en todos estos años.

A mis amigos: Marcos, Norberto, Ubaldo, Francisco, Efrén, Adolfo, Fabián, Eduardo, Ismael, Sergio Cobarrubias, Pablo, Sergio Herrera, Rafael y Roberto con quienes compartí bellos momentos en la Universidad.

Un especial afecto para todos mis compañeros y amigos de la carrera de Ingeniería en Restauración Forestal, por los grandes momentos que pasamos.

A todos mis primos y sobrinos.

Al Hermano Víctor y su esposa Doña Rafaela, por la confianza y ayuda que me brindaron en mi estancia en Chapingo.

A todos los amigos y compañeros que he encontrado en el transcurso de los años que pasé en la Universidad.

A la Comunidad Cristiana Chapingo.

ÍNDICE GENERAL

| CAPÍTULO | PÁGINA |
|--|--------|
| ÍNDICE GENERAL | |
| AGRADECIMIENTOS | i |
| DEDICATORIA | ivi |
| ÍNDICE GENERAL | iii |
| ÍNDICE DE CUADROS | iv |
| ÍNDICE DE FIGURAS | vii |
| RESUMEN | ix |
| SUMMARY | x |
| INTRODUCCIÓN | 11 |
| 1.1. Objetivo | 12 |
| 1.2. Hipótesis y supuestos | 12 |
| 2. REVISIÓN DE LITERATURA | 13 |
| 2.1. Concepto de regeneración | 13 |
| 2.2. Factores del medio ambiente que influyen en la regeneración natural | 13 |
| 2.2.1. Pendiente | 14 |
| 2.2.2. Exposición | 14 |
| 2.2.3. Materia orgánica y hojarasca | 15 |
| 2.2.4. Altitud | 15 |
| 2.2.5. Apertura de claros | 15 |
| 2.2.6. Profundidad del suelo | 17 |
| 2.2.7. Material parental | 17 |
| 2.2.8. Competencia | 17 |
| 2.2.9. Natalidad y mortalidad | 18 |
| 2.3. Descripción de la especie | 19 |
| 2.3.2. Diseminación de las semillas | 21 |
| 2.3.4. Reproducción vegetativa | 22 |
| 2.3.5. Reacción a la competencia | 23 |
| 2.3.6. Crecimiento y rendimiento | 23 |
| 2.3.7. Principales enemigos | 23 |
| 3. MATERIALES MÉTODOS | 24 |
| 3.1. Caracterización del área de estudio | 24 |
| 3.1.1. Localización geográfica | 24 |
| 3.1.4. Suelo | 25 |
| 3.1.2. Clima | 26 |
| 3.1.5. Vegetación | 27 |
| 3.1.6. Fauna | 27 |
| 3.2. Metodología | 28 |
| 3.2.1. Fase de campo | 28 |
| 3.2.2. Análisis de la información | 31 |
| 4. RESULTADOS | 33 |
| 4.1. Correlaciones para cada par de variables | 33 |

| | |
|---|----|
| 4.1.2. Correlación pedregosidad..... | 34 |
| 4.1.3. Correlación pendiente-densidad-altura total y diámetro de la base | 35 |
| 4.1.5 Correlación vegetación asociada-densidad-altura total-diámetro de la base. | 37 |
| 4.2. Comparación de medias para la regeneración..... | 38 |
| 4.4 Análisis del arbolado y sus correlaciones con la altitud y la pendiente. | 42 |
| 4.5. Comparación de medias para el arbolado..... | 44 |
| 4.6 Estimación de la densidad media por sitio, por hectárea y expansión de totales..... | 46 |
| 4.6.1 Número de árboles por sitio | 46 |
| 4.6.2. Número de árboles por hectárea..... | 46 |
| 4.6.3. Número de árboles estimado en toda el área de estudio. | 46 |
| 4.7 Estructura del rodal | 47 |
| 4.7.1 Proporción de los árboles de las distintas etapas de desarrollo respecto a la regeneración natural..... | 47 |
| 4.7.2 Crecimiento en altura del arbolado..... | 47 |
| 4.7.3 Relación diámetro-altura | 48 |
| 5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN..... | 53 |
| 5.1 Regeneración natural. | 53 |
| 5.2. Densidad del arbolado. | 55 |
| 5.3. Distribución de edades. | 55 |
| 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 58 |
| 8. LITERATURA CONSULTAD..... | 51 |

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO

PÁGINA

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | Densidad promedio por micrositio en cada sitio de 0.1 ha con las correlaciones más significativas..... | 33 |
| 2. | Valores de R para cada sitio y los efectos de la pedregosidad a diferentes porcentajes de pendiente. | 35 |
| 3. | Valores estadísticamente significativos de la correlación pendiente y las variables densidad, altura total y diámetro de la base. | 36 |
| 4. | Densidad promedio por micrositio en cada sitio de 0.1 ha con las correlaciones más significativas con las capa L, F y H para los sitios 11, 1 y 8. Con alfa estimada ($\hat{\alpha}$) menor a 0.05 para cada valor de R..... | 36 |
| 5 | Valores estadísticamente significativos de la correlación capa L, F y H con las variables altura total y diámetro de la base..... | 37 |
| 6 | Valores de R para cada sitio y los efectos de la vegetación asociada con la densidad, altura total y el diámetro de la base..... | 38 |
| 7. | Análisis de varianza para la comparación de medias de los 14 sitios de muestreo con Proc GLM L. S. means..... | 39 |
| 8. | Parámetros y estimadores para la estimación de la densidad media por sitio en los 14 sitios..... | 39 |
| 9 | Comparación de la densidad media, altura total promedio, diámetro de la base en los cinco micrositios de cada sitio..... | 39 |
| 10 | Datos de la medición de las diferentes variables independientes en relación a la densidad de la regeneración natural del sitio 11..... | 40 |
| 11 | Resultados obtenidos en la medición de las diferentes variables independientes en relación a la densidad de la regeneración natural del sitio 1..... | 40 |
| 12. | Características más sobresalientes del sitio10..... | 41 |
| 13 | Comparación de los diferentes sitios con la exposición, Profundidad del | |

| | |
|---|----|
| Horizonte "A" y la altitud..... | 42 |
| 14. Estimadores para la determinación de la correlación entre la altitud y la densidad media por sitio..... | 43 |
| 15. Valores para la determinación del coeficiente de correlación de Pearson..... | 43 |
| 16. comparación de la densidad media por sitio en los 14 sitios de muestreo..... | 45 |
| 17. Valores de los estimadores para el cálculo de la densidad promedio por sitio..... | 46 |
| 18. Valores de los estimadores para el cálculo de la densidad promedio por hectárea..... | 46 |
| 19. Valores de los estimadores para el cálculo de la densidad promedio por todo el área de estudio..... | 46 |
| 20. Clasificación de las masas en México de acuerdo con Cano (1988)..... | 47 |
| 21. Resultados del cálculo del área basal y volumen promedio por sitio de muestreo..... | 51 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| FIGURA | PÁGINA |
|---|--------|
| 1. Apertura de claros provocado por la caída de un árbol viejo..... | 7 |

| | | |
|-----|---|-----------|
| 2. | Características del tronco, de la corteza y de la hoja del haya americano (<i>Fagus grandifolia</i> E.)..... | 9 |
| 3. | Característica del involúcro del haya americano..... | 10 |
| 4. | Fases sucesivas después de la germinación..... | 12 |
| 5. | Localización geográfica del área de estudio en el Municipio de Zacualtipán, Hidalgo..... | 16 |
| 6. | Temperatura y precipitación media mensual, registradas en la estación meteorológica de Zacualtipán, Hidalgo..... | 17 |
| 7. | Representación esquemática de cada área de muestreo de 1000 m², con cinco micrositios de 1 m²..... | 20 |
| 8. | Estado general de la cobertura de copa en el bosque de haya..... | 21 |
| 9. | La apertura del dosel copa asociada a la densidad, para el sitio 8..... | 24 |
| 10. | La pendiente como un factor principal en el establecimiento de la regeneración natural..... | 26 |
| 11. | Tendencia de la correlación de la altitud respecto al número promedio de árboles por sitio..... | 33 |
| 12. | Tendencia de de la correlación entre el diámetro normal promedio por sitio y la altitud..... | 34 |
| 13. | Relación entre los sitios y su densidad promedio..... | 35 |
| 14. | Representación de la proporción de la regeneración natural respecto al restos de la población de haya..... | 38 |
| 15. | Representación de la proporción del arbolado en sus diferentes | |

| | |
|---|-----------|
| clasificaciones..... | 38 |
| 16. Relaciones entre las diferentes categorías diamétricas y la altura promedio por sitio..... | 39 |
| 17. Tendencia de la relación del diámetro normal de todos los árboles respecto a su altura..... | 40 |
| 18. Tendencia del volumen respecto al área basal del arbolado de <i>Fagus</i>..... | 42 |
| 19. Distribución de edades considerando el número de individuos en relación a la categoría diamétrica..... | 42 |
| 20. Edad del haya en relación al diámetro normal..... | 47 |

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en el ejido “La Mojonera”, Municipio de Zacualtipán, Hidalgo. Se estudió la regeneración natural del haya (*Fagus grandifolia* Ehrh. ssp. *mexicana* Martínez) y los factores microambientales que intervienen en su establecimiento, así como el estado actual del rodal. Se ubicaron por todo el área de estudio 14 sitios circulares de muestreo de 0.1 ha (3.5% de intensidad). En cada sitio se localizaron 5 submuestras de 1 m². Las variables medidas para el renuevo fueron: densidad/m²/sitio, altura total y diámetro de la base; se consideraron como variables independientes: grosor de la capa L, F y H (mm), cobertura de copa (%), vegetación asociada (%), pendiente (%), pedregosidad (%), exposición (grados azimut), altitud (msnm) y profundidad del horizonte “A” (cm). Se registraron todos los árboles de diferentes categorías diamétricas por sitio. Los datos se analizaron con una correlación simple y con una comparación de medias. Las correlaciones más altas con la densidad fueron: la capa L y F, cobertura de copa, pendiente, pedregosidad y la competencia, en los diferentes sitios. Estos factores influyen en el establecimiento de la regeneración natural. No hubo significancia de la densidad respecto a la altitud, a la exposición, ni profundidad del horizonte “A”. La estructura de edad del rodal es heterogéneo, lo que permite una mayor posibilidad para la preservación de la especie. La altitud ejerce influencia en la distribución de los árboles.

PALABRAS CLAVE: regeneración natural, haya, factores microambientales, estructura de edad

SUMMARY

The present research was realized in the common land "La Mojonera", Municipality of Zacualtipán, of the Hidalgo State. There was studied the natural regeneration of the beech (*Fagus grandifolia* Ehrh. ssp. *mexicana* Martínez) and the microenvironmental factors that intervene in his establishment, as well as the current state of the stand. There were located in the field of study 14 circular site of sampling of 0.1 hectare (3.5 % of intensity). In every place 5 subsamples of 1 m² were located. The variables measured for the regeneration were: densidad/m²/sitio, total height and diameter of the base; they were considered to be independent variables: depth of the layer L, F and H (mm), coverage of canopy (%), associate vegetation (%), slope(%), stony (%), aspect (degrees azimuth), altitude (msnm) and depth of the horizon "A" (cm). All the trees of different categories registered diametrics for site. The information was analyzed by a simple correlation and by a comparison of means. The highest interrelations with the thickness were: the layer L and F, coverage of canopy, slope, stony and the competition of herbaceous, in different sites. These factors influence the establishment of the natural regeneration. There was not significance of the depth with regard to the altitude, aspect and the depth of the horizon "A". The structure of age is heterogeneous, which allows a major possibility for the establishment of gaps that allows the regeneration of the species. The altitude influences in the distribution of the trees.

KEY WORDS: Regeneration, beech, microenvironmental factors, structure of ages.

INTRODUCCIÓN

El haya (*Fagus grandifolia* Ehrh. ssp. *mexicana* Martínez), por su carácter endémico, su utilidad en el ámbito social, económico y ecológico se convierte en una especie importante en México. Su restringida distribución y el cambio del uso del suelo, donde se desarrolla, lo ubica en la clasificación de especies en peligro de extinción. Distintos investigadores concuerdan que los estudios realizados para el conocimiento de la especie, que ayuden a su conservación y manejo, han sido escasos.

Por otra parte, para que un bosque natural logre cumplir con su ciclo biológico de manera satisfactoria, es necesario que cada uno de sus procesos se dé en un ambiente adecuado para su continuidad y supervivencia. Las condiciones microambientales tienen gran influencia en este proceso, las cuales intervienen desde el momento de la caída de las semillas, germinación de las mismas y desarrollo de las plántulas, incluso hasta la fase donde los renuevos ya quedan libres de los depredadores y de los factores ambientales adversos.

Por tal motivo es importante conocer la función que desempeñan los factores fisiográficos y edafológicos en el establecimiento de la regeneración natural del haya. Sabiendo que éstos pueden cambiar los microclimas donde se desarrollan las plántulas, por la modificación de la intensidad de la luz, la temperatura y la humedad. Asimismo, conocer el estado actual dasométrico del rodal.

Además cuando las plántulas se han establecido, es necesario conocer la proporción que llega a una determinada edad, pues nos proporciona un panorama del comportamiento de la dinámica de crecimiento a través del tiempo. De esta manera se sabe si la regeneración es satisfactoria por la proporción que presenten los árboles en sus distintas clases diamétricas

1.1. Objetivo

1. Estudiar las características dasométricas y cualitativas de la regeneración y del arbolado del haya (*Fagus grandifolia* ssp. *mexicana*), en relación con algunos factores del medio ambiente que influyen en el establecimiento, supervivencia y crecimiento de los brinzales.

1.2. Hipótesis y supuestos

Hipótesis:

1. Los factores edáficos, fisiográficos y de competencia a nivel microambiental, afectan a la regeneración natural de *Fagus grandifolia* ssp. *mexicana*.
- 2). Existen diferencias en densidad, desarrollo y vigor de la regeneración natural en los distintos sitios de muestreo.
- 3.) La estructura del rodal es producto de la influencia de los factores medioambientales y las características dasométricas de los árboles de *Fagus grandifolia* ssp. *mexicana* que se encuentran en el sitio.

Supuestos:

- 1). La metodología permite conocer los mecanismos y estrategias que la especie utiliza para el establecimiento de la regeneración natural; la cual está influenciada por los distintos microambientes generados por disturbios naturales, los factores fisiográficos y edáficos.
- 2). El bosque de haya tiene una estructura de edad heterogénea, la cual le permite mantener su ciclo de vida de manera constante y se asegura la continuidad de este evento.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Concepto de regeneración.

El término regeneración puede definirse como un proceso de nacimiento y muerte, mediante el cual una población puede volver a poblar un área o parte de ella (Zavala, 2000). El proceso depende del régimen de perturbación natural que se presenta en el bosque como: fuegos, ciclones, sequías, ataque de plagas y enfermedades; los cuales promueven una alta mortalidad de árboles, cuya caída abre claros en el bosque, a partir de dichas áreas es ahí donde se presenta la regeneración natural (Granados y López, 2000).

Evans (1984) dice que para darse una regeneración natural satisfactoriamente, primero, debe haber una abundante semilla en el piso forestal; éste a la vez debe estar limpio, en términos de lo que hemos llamado suelos minerales expuestos, una adecuada protección y un buen control de maleza durante el periodo del establecimiento de la regeneración natural.

2.2. Factores del medio ambiente que influyen en la regeneración natural.

Después de la abundante producción de semillas; para su germinación, sobrevivencia y desarrollo de la regeneración existen múltiples factores que interactúan para que este proceso se lleve a cabo, alguna de ellas son: apertura del dosel, exposición de la pendiente, el grado de inclinación de ésta con respecto al plano horizontal y la materia orgánica, entre otras (Hawley y Smith, 1954 y Daniel *et al.*, 1982); mientras que las condiciones edáficas, pueden proveer de condiciones óptimas para el crecimiento de las plantas, proveen también todos los factores estimulantes para cada etapa de desarrollo de la planta. Si el ambiente dispone correctamente de los estímulos que ésta requiere, la planta puede tener un buen crecimiento y supervivencia (Sackville y Chorlton, 1997).

2.2.1. Pendiente

En función de la pendiente se encuentran otros factores relacionados con la regeneración natural pues tiene una marcada influencia en el drenaje interno del agua, suministro de humedad, afecta la profundidad y textura del suelo. Estos factores traen como consecuencia un aumento o disminución de la productividad del bosque (Spurr y Barnes, 1980; Jahn, 1982). Perry *et al.*, (1989) mencionan que como consecuencia de una pendiente muy pronunciada puede darse con mayor facilidad la erosión, lo que directamente afecta a la regeneración, puesto que el suelo provee de elementos esenciales como agua y nutrimentos, además de funcionar como soporte estructural de las plantas y contener microorganismos útiles. Por su parte, (Tamhane *et al.*, 1979); citado por (Arteaga, 1983), menciona que, aunque el clima y el material generador sean los mismos, en las pendientes pronunciadas el horizonte “A” y “B” tienden a ser más delgadas que aquellas con menor pendiente, la cual significa que dichos factores influyen en el desarrollo del perfil del suelo.

2.2.2. Exposición

La exposición se define como la situación de las laderas con relación a los puntos cardinales de acuerdo a la orientación geográfica que muestra la cara del terreno (Deloya y Zerecero, 1972). Este factor influye en la posición del sol medida en relación de la cantidad de radiación solar que incide sobre el dosel de las copas y la cantidad de radiación de ondas largas que alcanza a llegar hasta la superficie del suelo. Esto a la vez crea condiciones microambientales que establecen límites para la germinación y establecimiento de algunas especies (Daniel *et al.*, 1982; Oliver y Larson 1990).

Las laderas con exposición norte reciben menor cantidad de luz. En cambio, en la exposición sur hay una mayor radiación solar directa, la cual incrementa la evaporación del suelo, producido por un efecto de “trampa de calor”, debida a la radiación de onda larga emitida por el suelo y los troncos de los árboles, por lo tanto, existe una disminución de la tolerancia aparente de las plantas (Spurr y Barnes, 1980; Daniel *et al.*, 1982).

Aunque ambas reciban la misma cantidad de radiación solar, existe una diferencia entre un ambiente con exposición Suroeste y una exposición Sureste. La exposición sureste recibe una cantidad máxima de energía durante la mañana, cuando la temperatura del suelo y el aire son bajos. En una exposición suroeste hay una máxima cantidad de energía por la tarde, cuando la temperatura del suelo y del aire es elevado y la planta se somete a una tensión hídrica, producto de la insolación y el estrés que esto provoca (Daniel *et al.*, 1982).

2.2.3. Materia orgánica y hojarasca

De todos los horizontes del suelo uno de los más importantes ecológicamente del piso forestal es el horizonte orgánico. Sus funciones más conocidas son aquellas relacionadas con las propiedades físicas de los suelos: mejora la textura y aumenta la capacidad de intercambio catiónico, favorece la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y azufre, a través del proceso de mineralización. Asimismo, la hojarasca forma un colchón sobre la superficie del suelo, la cual reduce la erosión y la escorrentía superficial, entre mayor cantidad de hojarasca las semillas son más fáciles de retener (Smith, 1977 y De las Salas, 1987). En términos de la regeneración, su abundancia impide el desarrollo de la germinación, así como el establecimiento y sobrevivencia de las plántulas.

2.2.4. Altitud

Hawlyn (1992) menciona que la variación altitudinal causa muchos cambios visibles en la composición de la vegetación y en el hábito de crecimiento individual de las plantas. En asociación con otros factores como la topografía local, así como la pendiente.

2.2.5. Apertura de claros

El microclima del sitio puede estar influenciado por la apertura de claros, los cuales pueden ser favorables para la regeneración natural y en algunas

ocasiones la formación de claros son importantes para el crecimiento y sobrevivencia de la regeneración pues con ella se provee una mayor cantidad de luz (Young, 1982).

Los claros creados en el bosque por la caída de los árboles reciben una mayor intensidad de radiación solar directa durante el medio día. Además existen bajas pérdidas de agua por intercepción, transpiración y evaporación, trayendo como consecuencia la restricción en el éxito competitivo de algunas especies y liberando la función ecológica de otras que entran a colonizar (Daniel *et al.*, 1982).

La luz interviene en numerosas funciones de las plantas; estas pueden clasificarse de acuerdo a sus requerimientos relativos de luz solar o de sombra, los que crecen mejor bajo una menor intensidad luminosa, se llaman esciófitas. Tienen pocos requerimientos de luz y poseen capacidad para incrementar su contenido de clorofila a muy bajas intensidades luminosas. Pueden estar en desventaja bajo la luz solar total porque no pueden producir de manera rápida la clorofila. Las hayas son esciófitas facultativas (Daubenmire, 1988).

La capacidad genética y fisiológica de las plántulas para sobrevivir bajo condiciones de poca luz está relacionada con el peso de las semillas. Las especies con semillas más grandes tienen una tasa de mortalidad más pequeña que las semillas chicas, en condiciones de penumbra (Granados y López, 2000). Esta capacidad para sobrevivir, crecer y desarrollarse en la sombra, se le llama tolerancia, clasificando a las hayas como muy tolerantes (Weaver y Clements, 1944).

Cuando un árbol viejo cae se abre un claro en el dosel (Figura 1), los brinzales crecen rápidamente, debido al espacio que permite una mayor cantidad de luz. Las especies tolerantes a la sombra pueden morir por la cantidad de luz que entra por el claro y no volverán a regenerarse hasta que las hojas de los árboles hayan crecido y el hueco del dosel haya cerrado (Capon, 1994). Spurr y Barnes (1980) nos dicen que las especies extremadamente tolerantes a la sombra se establecen en el sotobosque y persisten durante periodos muy

prolongados. Penetran gradualmente en el dosel a medida que mueren los árboles del dosel superior y pueden resistir en el sotobosque hasta que las condiciones sean favorables para el crecimiento.



Figura 1. Apertura de claros provocado por la caída de un árbol viejo (Tomado de Capon, 1994).

2.2.6. Profundidad del suelo

La profundidad del suelo influye en el crecimiento de los árboles hasta el grado de afectar el suministro de nutrientes y de humedad para el desarrollo de las raíces y una mejor resistencia a las fuerzas del viento. Los árboles que crecen sobre suelos poco profundos generalmente están poco dotados de agua y nutrientes en contraste con los suelos profundos (Pritchett, 1986).

2.2.7. Material parental

El material parental influye en la productividad por medio del efecto sobre las propiedades químicas, físicas y microbiológicas del suelo; asimismo puede proveer la variación respecto a la lixiviación de nutrientes, acumulación de materia orgánica y acidez del suelo" (Pritchett, 1986). Además, el material parental es el factor fundamental que va a originar que el suelo presente ciertas características que influyen en el establecimiento de las especies forestales.

2.2.8. Competencia

La competencia implica la disminución en el total de agua, de sustancias nutritivas o de luz, disponibles para cada individuo. Es muy común entre los

individuos que tienen la misma provisión al mismo tiempo. La competencia se reduce en forma notable entre las plantas que se encuentran a diferentes niveles y reciben la luz a diferentes alturas. En algunos casos, solo hay una competencia por el espacio (Weaver y Clements, 1944)

El caso más simple de competencia tiene lugar entre las plantas de una misma especie. Al principio por la diferencia en alturas, expansión de las hojas, penetración y extracción de raíces laterales. La competencia entre diferentes especies da como resultado la reducción del número de individuos o su total desaparición. La rivalidad entre los individuos de la misma especie son más agudas que entre diferentes especies (Clarke, 1975). Por lo tanto para mantener la regeneración en forma satisfactoria, debe haber control de malezas, que ejercen competencia, una adecuada protección y un mantenimiento subsecuente y si existe una densidad alta de la regeneración se necesita preclareo con la finalidad de dar un espacio de crecimiento adecuado (Evans, 1984).

2.2.9. Natalidad y mortalidad

La abundancia de una especie dentro de un área aumenta a causa de la natalidad. La intensidad de la reproducción depende de la frecuencia de nacimientos o natalidad, y la intensidad con que se suceden las muertes, recibe el nombre de mortalidad y estos varían con la edad de los individuos (Clarke, 1975). Terrazas (2001) afirma que la mortalidad en las poblaciones vegetales se determina por la longevidad (ciclo de vida) o accidentes mecánicos, enfermedades, depredación y otras causas ambientales.

La mortalidad debido a causas extrínsecas puede afectar a semillas y plántulas, en mayor proporción a los adultos. En los árboles puede darse defoliación completa por ataque de insectos. La muerte de un árbol puede producirse de modo súbito por causa de un rayo, viento, sequía, helada o competencias; los cuales pueden implicar efectos mecánicos sobre otros vegetales vecinos o dominados (Terrazas, 2001).

2.3. Descripción de la especie

El haya es un árbol de tronco columnar de 30 a 40 m de altura con un diámetro de hasta un 1 m, recto y de corteza delgada, esta es de color gris y presenta manchas de diferentes coloraciones (Ehnis, 1981; Pérez, 2001), muy similar a *Fagus grandifolia* Ehrh. de Estados Unidos (Figura 2).

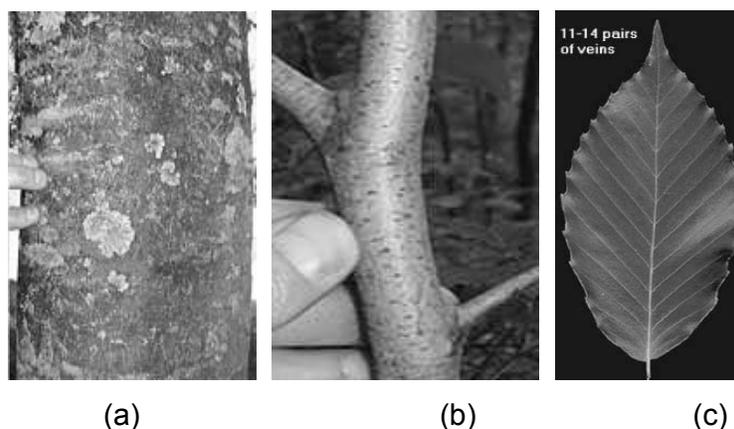


Figura 2. Características de *Fagus grandifolia*: a) del tronco; b) de la corteza; c) de la hoja (Fuente: <http://www.cnr.vt.edu/dendrogy/syllabus/fgrandifolia.htm>)

Las hojas son alternas, pennivervadas con 11 a 14 pares de venas y caedizas, elíptico acuminadas, de 5 a 5.7 cm de largo por 3 cm de ancho, sobre peciolo de 6 mm lisas y algo coriáceas; borde crenado y dentada (Figura 2c). Flores femeninas por pares, sostenidas por un involucro ovoide de 1.5 a 2 cm veloso, que se abre en cuatro valvas agudo-oblongas (Figura 3).

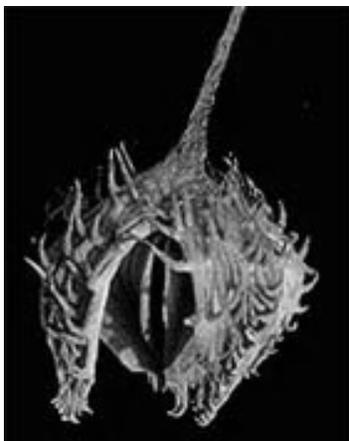


Figura 3. Característica del involucre del haya americano (Fuente: <http://www.cnr.vt.edu/dendrogy/syllabus/fgrandifolia.htm>)

Presenta dos nueces triangulares de color castaño y contienen una semilla con los cotiledones plegados (Martínez, 1944); citado por (Ehnis, 1981).

En los Estados Unidos, el haya se usa para los contenedores, duelas para pisos, cajas de empaque, sillas, decorado interior. En México, la semilla es comestible, usado para hacer una especie de mole, fabricación de culatas de armas, fabricación de tacones de calzado, elaboración de carretes para hilos y construcción de muebles (Record y Hess, 1949; Pérez, 2001).

2.3.1. Floración y fructificación

La polinización se produce generalmente por la acción del viento, la capacidad de dispersión del polen es muy baja. Las flores aparecen después del desarrollo de las yemas foliares. Las flores masculinas están en cabezas largamente estaminadas, en tanto que las femeninas se encuentran en racimos por pares. La floración se lleva a cabo durante febrero y marzo, época de menor precipitación pluvial (Ehnis, 1981); mientras en los estados centrales de norteamérica, la floración empieza después de abril y principios de mayo, cuando las hojas están creciendo. La maduración de las semillas va desde septiembre a noviembre. En esta etapa, las nueces son reducidas por diversas causas, ya sea porque caen al suelo, son comidos por insectos, o son

abortadas. La caída de las semillas empieza después de las primeras lluvias (Sackville y Chorlton, 1997).

2.3.2. Diseminación de las semillas

La dispersión de los "hayucos" se produce al presentarse las primeras heladas, el "hayuco" cae en la hojarasca y cuando ya está maduro se abre en cuatro valvas, albergando en su interior dos nueces trígonoas. Esta especie presenta alternancia en la producción de semillas llamado "año semillero" el cual se presenta cada siete años. La época de dispersión de las semillas es posiblemente en octubre, cuando la temperatura baja muy cercana a 0°C. (Ehnis, 1981; Pérez, 2001).

Sackville y Chorlton (1997), mencionan que el haya empieza generalmente a producir la semilla cerca de los 40 años, pero produce en grandes cantidades cerca de los 60 años. Cuando el haya se encuentra en buen estado, puede producir por dos o tres años consecutivamente aun cuando, por lo general, no produce semilla cada año. Las semillas del haya son relativamente pesadas y muchas caen debajo de los árboles padres. Las aves y los roedores pueden acarrear las semillas a cortas distancias y otras pueden ser rodadas por la ladera debido a la inclinación de la pendiente, de tal forma que la diseminación es por aves; por el viento y acción de la gravedad.

2.3.3. Germinación y desarrollo de las plántulas

El proceso de estratificación natural es proporcionado por la hojarasca (Pérez, 2001). En Estados Unidos la germinación se da cerca del invierno y verano, es epigea, algunas veces puede ser baja por la dormancia del embrión. La germinación es buena sobre el suelo mineral y en el mantillo; pero excesivamente pobre en sitios demasiado húmedos (U.S.D.A, 1965).

La plántulas del haya pueden desarrollarse mucho mejor bajo doseles moderados y en pequeños claros protegidos y también bajo las raíces de los árboles El renuevo se encuentra en grandes cantidades, agrupados bajo los árboles; pero bajo estas condiciones su crecimiento es lento (U.S.D.A, 1965).

La Figura 4 muestra el proceso de la regeneración natural del haya para el caso de Zacualtipán, Hidalgo.

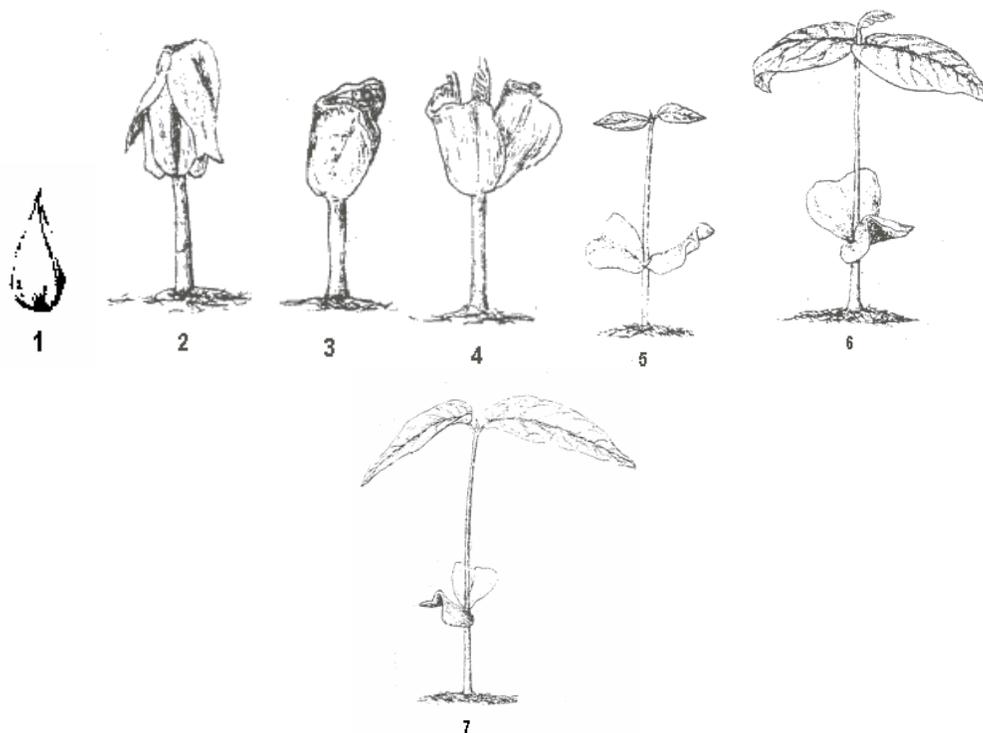


Figura 4. Fases sucesivas después de la germinación (Dibujo de M. Ornelas, Tomado de Lasse, 1944)

La dormancia del renuevo puede romperse en invierno y su crecimiento puede ser prolongado por la complementación de luz. En unos experimentos, el haya continúa creciendo en todo el invierno bajo continua luz en un invernadero donde los días fueron suplementados con luz artificial (Sackville y Chorlton, 1997).

2.3.4. Reproducción vegetativa

La producción de brotes es frecuente cuando un árbol es derribado o herido, también se da en la cima de los tocones, los cuales se desarrollan de los "callos" del tejido cambial. En árboles mayores de 10 cm de diámetro la emisión de brotes se ve disminuida. Normalmente son efímeras y no logran su desarrollo como árbol (Sackville y Chorlton, 1997; Pérez, 2001).

2.3.5. Reacción a la competencia

El haya es muy tolerante pero en las tierras muy pobres o en el clima muy frío la tolerancia disminuye, además puede soportar el ahogo causado por las plantas vecinas y de crecer lentamente, sin disminución aparente de su vigor, siendo todavía capaces de desarrollarse rápidamente después de 100 o más años, cuando se liberan de sus competencias más próximas (Weaver y Clements, 1944; Sackville y Chorlton, 1997).

2.3.6. Crecimiento y rendimiento

El período de crecimiento radial del haya puede ser durante 80 a 89 días en los bosques de Georgia y de aproximadamente de 60 días en Indiana. El crecimiento anual de la altura es de aproximadamente de 60 días, de los cuales el 90% ocurre entre el 10 de mayo y el 10 de junio, teniendo el más bajo índice de sitio de todas las maderas duras en Estados Unidos (Tubbs y Houston, 2003).

El período de crecimiento radial está influenciado por la humedad de la tierra. Bajo condiciones normales puede terminar a mediados de julio; pero por la sequía, a mediados de junio; pero algunos individuales pueden continuar su crecimiento hasta agosto o septiembre. En los años de sequía, los anillos anuales no pueden crecer en las secciones basales.

Unos árboles individuales pueden continuar su crecimiento en agosto y septiembre. En los años secos, los anillos anuales no pueden crecer en las secciones basales de algunos árboles del haya. En general, el crecimiento radial de haya empieza cuando las hojas se extienden totalmente (U.S.D.A, 1965). Bajo condiciones óptimas, los árboles del haya alcanzan los 37 m; sin embargo, el promedio de alturas oscila entre 18 y 24 m (Tubbs y Houston, 2003).

2.3.7. Principales enemigos

Debido a su corteza delgada y su superficie radical grande, el haya es muy susceptible a ser lesionado (Sackville y Chorlton, 1997. Asimismo, Ehnis (1981) reporta que en Teziutlán, Puebla, los árboles han sido severamente

dañados por el fuego y Pérez (2001) menciona de un lepidóptero que consume una gran cantidad de follaje, ocasionando daños a los arbolitos de 0.5 a 2 m de altura. Sus raíces son susceptibles al ataque de hongos del género *Fomes* y *Polyborus* en Zacualtipán, Hidalgo.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Caracterización del área de estudio

3.1.1. Localización geográfica

El municipio de Zacualtipán se localiza en el noroeste del Estado de Hidalgo, entre los paralelos 20° 34' y 20° 44' Latitud Norte, 98°26' y 98°39' longitud oeste (Figura 5). Sus límites al norte son con el municipio de Tianguistengo y Xochicoatla, al oeste con Metztlán y al sur con Metzquitlán (municipios de

Hidalgo (Méndez, 1998). De acuerdo con Ehnis (1981), el bosque de haya se localiza a unos 200 metros al norte del km 1 de la carretera Zacualtipán-Tlahualompa, aproximadamente a 6 Km. al sureste de Zacualtipán. Se sitúa a los 20° 30' Latitud Norte y 98° 35' longitud oeste. Su altitud varía de los 1780 m en su parte más baja hasta los 1920 m en el extremo sur. La superficie medida para el bosque de haya es de aproximadamente 40 ha. Este bosque pertenece al ejido “La Mojonera”, al que colinda con su extremo norte con el ejido de “Tichincales”, al que pertenece una pequeña superficie del bosque de *Fagus*, La topografía es muy accidentada. Existen pocos lugares planos, los cuales se presentan solo en los márgenes de los arroyos. En la porción norte, la pendiente se vuelve más pronunciada, llegando hasta el 100%.

3.1.4. Suelo

La profundidad del suelo en el bosque de *Fagus* varía desde somero hasta muy profundo. En algunos lugares existen afloramientos de roca madre, esporádicamente se encuentran rocas de tamaño considerable. La textura es franca, en sus horizontes superiores y la proporción de arena-arcilla-limo varía con la profundidad, hasta encontrarse horizontes franco-arcillosos y arcillosos a más de 1 m de profundidad. Posee un color de tono café oscuro en los horizontes superiores hasta amarillos y amarillos rojizos en las capas inferiores (Ehnis, 1981)

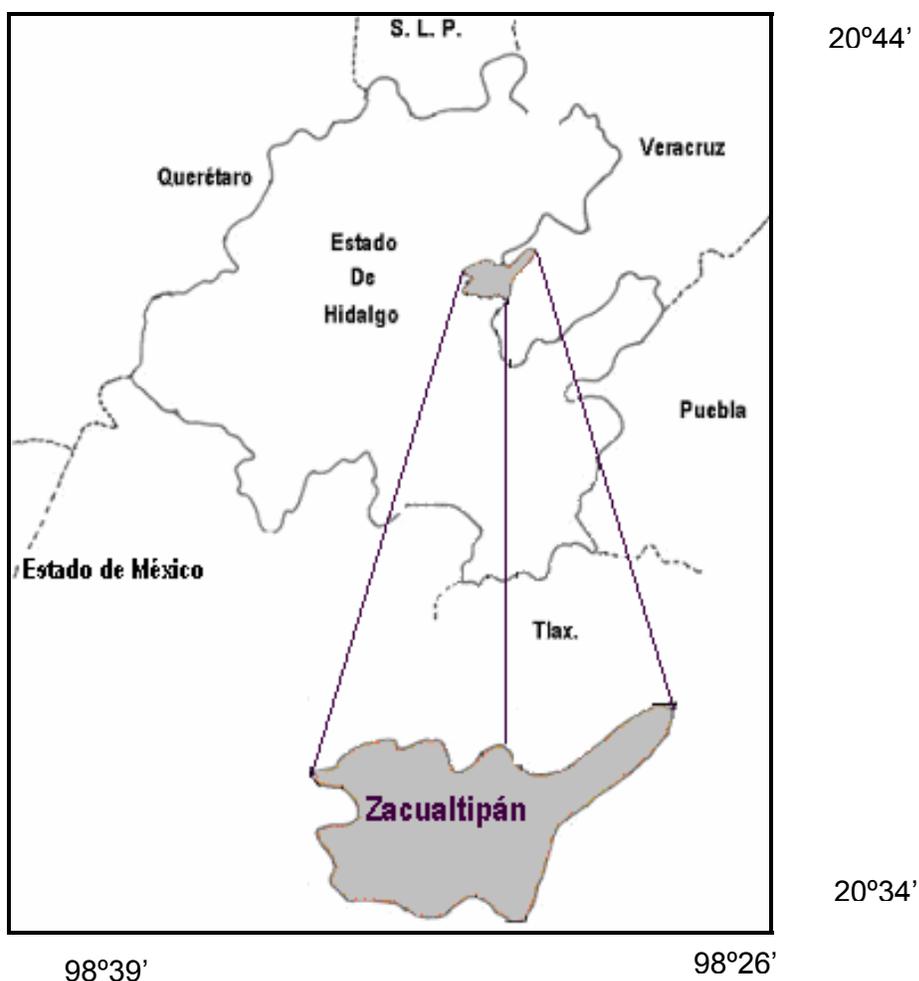


Figura 5. Localización geográfica del área de estudio en el municipio de Zacualtipán, Hidalgo.

3.1.2. Clima

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificado por García (1976), el tipo de clima para Zacualtipán es Cf (w) b e h, veranos frescos, nieblas frecuentes, con máximos de lluvias en verano y con la oscilación anual de la temperatura media mensual extremosa. La temperatura media mensual es de 10.6°C. La temperatura, media del mes más caliente (abril) es de 13.9°C; con una temperatura del mes más frío (diciembre) de 9.0°C (Figura 6). Temperatura máxima extrema de 36°C (abril); temperatura mínima extrema (marzo) de -10°C, y la precipitación media anual es de 1854 mm.

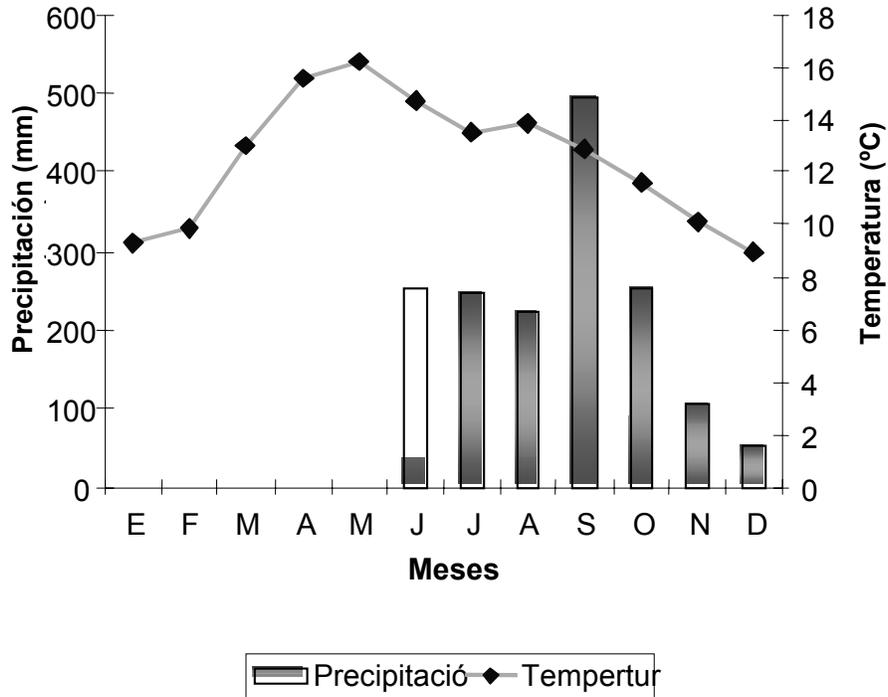


Figura 6. Temperatura y precipitación media mensual, registradas en la estación meteorológica de Zacualtipán, Hidalgo (Tomado de García, 1976).

3.1.5. Vegetación

Entre las especies que más destacan en la zona, asociadas con el Haya, se encuentran: *Magnolia schiedeana*, *Clethra macrophylla*, *Turpinia insignis*, *Miconia oligotricha*, *Miconia anisotricha*, *Ocotea klotsshiana*, *Epifagus virginiana*, *Cyperus* sp., *Rubus* sp., *Smilacina flexulosa*, *Begonia boissieri*, *Asplenium monanthes*, *Depea exselsa* *Polypodium rhodopleuron*, *Polysticum aculeata*, *Smilax moranensis*, *Senecio schaffneri*, *Oreopanax xalapensis*, *Liquidambar macrophylla*, *Alnus glabrata* y *Sellaginella galeotti*, *Quercus xalapensis*, entre otros (Ehnlis, 1981).

3.1.6. Fauna

Los animales de mayor tamaño que existen en la localidad de Zacualtipán son: armadillo (*Dasyopus novemcinctus*), tejón (*Nasua narica*), mapache (*Procyon lotor*), zorra gris (*Urucyon cinereoargenteus*), conejo (*Sylvilagus floridanus*), ardilla (*Sciurus aureogaster*), pericos (*Aratinga canicularis*), palomas (*Oreopelia montana*), codorniz (*Colinus virginianus*), pájaro carpintero (*Campephlius imperialis*), águila real (*Aquila chrisaetos*) y distintas serpientes (Ehnis, 1981).

3.2 Metodología

3.2.1. Fase de campo:

Selección de los sitios de muestreo. Como primer paso, se realizó un recorrido por el área que ocupa el bosque de *Fagus*. Posteriormente se establecieron al azar y por todo el área de *Fagus*, 14 sitios circulares de muestreo de 0.1 ha, con una intensidad de muestreo del 3.5%. En dicho muestreo se consideraron aquellos sitios que presentaban características variables en cuanto al porcentaje de pendientes, apertura de claros y exposición de la ladera. En cada sitio de 1000 m² se seleccionaron 5 micrositos al azar de 1 m², debido a que la distribución espacial de la regeneración natural del haya es de forma agrupada, localizando aquellos lugares donde la regeneración fuera más abundante (Figura 7). La obtención de los datos se realizó de la siguiente manera:

Datos obtenidos en el sitio de 1000 m². Para cada sitio de 0.1 ha se midió con el altímetro la altitud (msnm) y la profundidad del horizonte "A", esta última variable se midió con la ayuda de una pala recta y de una regla metálica de 50 cm, diferenciando los colores de los horizontes, los datos del horizonte "A" se expresaron en cm. Se consideraron para los 14 sitios de todos los árboles de las distintas clases diamétricas, para tener una relación de edades basadas en el diámetro normal.

Las variables dasométricas consideradas fueron: número de árboles por sitio, altura total y diámetro normal (1.30 m).

A nivel micrositio (1 m²). Se midieron las siguientes variables:

VARIABLES EDÁFICAS:

Capa orgánica. La capa orgánica que descansa sobre la porción mineral del suelo; pero que no se mezclan con ella, se divide en tres subcapas que son las siguientes:

L. Con esta literal se representa la capa "litter" (mantillo) que consta de restos muertos no alterados de plantas y animales que se hallan en cierta etapa de descomposición.

F. Esta zona se halla inmediatamente después del (mantillo), consta de fragmentos parcialmente desintegradas hallándose en un buen estado de preservación lo cual le permite identificar su origen.

H. Consta de materia orgánica amorfa ya desintegrada, esta capa es comúnmente conocida como humus de tipo "mull".

Para la obtención de los datos se procedió de la siguiente manera: Se consideraron las subcapas L y F de la capa orgánica como una sola variable, asimismo se midió la materia orgánica tipo "mull" (capa H). Para tal finalidad se usó una regla de 50 cm, expresándose los valores en milímetros.

Pedregosidad. Se obtuvo de acuerdo al porcentaje de piedras que cubría el micrositio de regeneración (1 m²).

VARIABLES FISIGRÁFICAS:

Pendiente. La inclinación del terreno con respecto a un plano horizontal se obtuvo por medio de un clinómetro Sunnto y la información se expresó en porcentaje (%).

Exposición. Los datos de la exposición de la ladera con respecto a los puntos cardinales se obtuvieron con la ayuda de una brújula. Expresándose los datos en grados azimut.

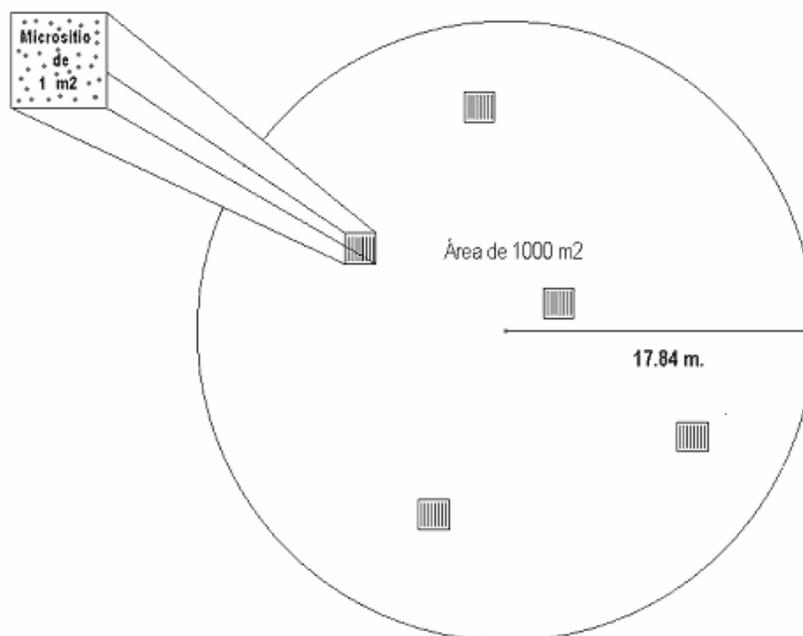


Figura 7. Representación esquemática de cada área de muestreo de 1000 m², con cinco micrositios de 1 m².

Variables dasométricas:

Altura total del renuevo: La medición se hizo con el apoyo de una regla y la altura total se consideró desde la superficie del suelo hasta la yema terminal, expresándose los resultados en centímetros.

Diámetro de la base: Se realizó a nivel del hipocótilo. Se midió con vernier y los resultados se expresaron en milímetros.

Factores de competencia.

Dentro de estos factores se consideraron las variables: cobertura de copa y el porcentaje de vegetación asociada al renuevo del haya para cada micrositio de 1 m², efectuándose de la siguiente manera:

Cobertura de copas. Se consideró el porcentaje de cobertura de copas o en su caso, apertura de claros, por cada micrositio muestreado, como un factor asociado a la regeneración natural del haya, para ello se tomaron fotografías hacia el dosel del arbolado. La Figura 8 muestra las distintas formas que

presenta la cobertura de copa, bajo las cuales se lleva a cabo el proceso de regeneración natural.



Figura 8. Estado general de la cobertura de copa en el bosque del haya

Vegetación asociada. Para esta variable, sin considerar que tipo de especie herbácea fuera, se obtuvo de acuerdo al porcentaje de cobertura encontrada en cada micrositio.

3.2.2 Análisis de la información

Se crearon archivos en la hoja de cálculo Excel donde se almacenaron y se ordenaron todas las variables dasométricas, edáficas, fisiográficas y los factores de competencia.

Para el análisis de los datos obtenidos se empleó una correlación simple (Correlación de Pearson) para ver la existencia de correlaciones de las distintas variables dependientes (densidad, altura, diámetro de la base) con respecto a las variables fisiográficas, edáficas y los factores de competencia. Además se realizó una comparación de medias con el programa **Proc GLM Lsmeans**. Para tal fin se utilizó el paquete de cómputo **SAS** (Sistema de Análisis Estadístico); asimismo, para la graficación y ordenación de la información se empleó el programa Excel.

El coeficiente de correlación lineal (r) es la medida de la fuerza de una relación entre variables, tendrá siempre un valor entre -1 y 1, siendo el valor de +1 para la correlación positiva perfecta. La correlación será alta cuando el valor de r se aproxima a +1 ó -1, y será baja cuando se acerque a 0 (De la Vega, 1994).

Cuando es positiva nos indica que a mayor incremento de una variable, la otra variable también aumenta; mientras que una correlación negativa nos indica que cuando una variable aumenta, otra disminuye. Existe correlación entre un par de variables si α calculada ($\hat{\alpha}$) es $\leq \alpha$, donde α es igual a 0.05, propuesto de manera arbitraria. Por lo tanto, con un 95% de confiabilidad se puede afirmar dicha correlación, en caso de existir.

Supuestos estadísticos

$$H_0: r(x, y) = 0 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$H_a: r(x, y) \neq 0 \quad \dots\dots\dots(2)$$

H₀: Hipótesis nula.....Sin correlación

H_a: Hipótesis alternante.....Con correlación

Donde: r: Coeficiente de Correlación de Pearson; X: Variable independiente; Y: Variable dependiente; $\hat{\alpha}$: valor estimado; α : 0.05

Si $\hat{\alpha} \leq \alpha$ se rechaza H₀ y se concluye que $r(x, y) \neq 0$, por lo tanto hay correlación entre cada par de variables.

Comparación de medias

$$H_0: \mu_i = \mu_{i'} \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$H_a: \mu_i \neq \mu_{i'} \quad \dots\dots\dots(4)$$

H₀: Hipótesis nula.....Los sitios tienen igualdad estadística

H_a: Hipótesis alterna.....Los sitios son diferentes estadísticamente

μ_i y $\mu_{i'}$: media de cada sitio

Donde $i = 1-14$ $i' = 1-14$

Regla:

Rechazar H_0 si $\hat{\alpha} \leq \alpha$, donde $\alpha = 0.05$

Si $\hat{\alpha} \leq \alpha$ por lo tanto existe una diferencia estadística, donde $\hat{\alpha}$ debe ser ≤ 0.05 . Un valor > 0.05 significa que, estadísticamente, las medias de las variables por sitio son iguales.

4. RESULTADOS

4.1. Correlaciones para cada par de variables

4.1.1. Correlación cobertura de copa y densidad

Debido a que el factor que más interviene en la regeneración es la poca cobertura de copa (Figura 9), pues su bajo porcentaje (30%, 45% para los sitios 1 y 8) muestran que a menor cobertura existe una mayor cantidad de renuevo. Estos son los sitios que más información proporcionan de la relación densidad-cobertura de copa.

Para el sitio 11 la cobertura de copa no parece influir mucho en la regeneración natural, aunque la correlación resultante es de -0.35. esto es porque el Haya es una especie muy tolerante a la sombra (Cuadro 1).

Los sitios que también tienen una tendencia negativa en la correlación fueron los sitios 12 y 13 con un valor cercano a la unidad de -0.94 y -0.82, respectivamente. Estos resultados indican que a mayor o menor cobertura de copa, la regeneración se comporta en función de los demás factores, como la pendiente, mantillo y la pedregosidad.

Cuadro 1. Densidad promedio por micrositio en cada sitio de 0.1 ha con las correlaciones más significativas. Con alfa estimada ($\hat{\alpha}$) menor a 0.05 para cada valor de R.

| Sitio N° | Densidad promedio/sitio | Coefficiente de Correlación | Porcentaje de cobertura de copa % |
|----------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 11 | 35 | -0.35 | 68 |
| 1 | 31 | -0.55 | 30 |
| 8 | 23 | -0.98 | 45 |
| 13 | 16 | -0.82 | 66 |
| 9 | 15 | -0.35 | 52 |

| | | | |
|----|----|-------|----|
| 12 | 12 | -0.94 | 84 |
| 14 | 8 | 0.58 | 68 |



Figura 9. La apertura del dosel o la menor cobertura de copa está asociada a la densidad, para el sitio 8.

4.1.2. Correlación pedregosidad-densidad.

En el sitio 8 se obtuvo una correlación positiva de la regeneración natural con la pedregosidad ya que en gran parte de este sitio hubo un cierto porcentaje de piedras (37.5%). Lo que indica que en pendientes pronunciadas, las rocas presentes ayudan al establecimiento del renuevo reteniendo las semillas y proveyendo las condiciones microclimáticas para la germinación.

Por otra parte, la ausencia de pedregosidad en el sitio 11 permite la existencia de un mayor número de renuevos. La correlación fue negativa pues este sitio presentó una densidad promedio por micrositio mayor que los demás sitios, aunado a la pendiente poca pronunciada (35.7%). Los sitios no reportados en el Cuadro 2, no presentaron material rocoso en cada micrositio evaluado. Para el sitio 7 la escasa densidad se le puede atribuir la influencia del hombre y a los límites de distribución de *Fagus*, pues se localizó en una altitud cercana a la carretera (1920 m.s.n.m), además de encontrar árboles cortados de diámetros pequeños. Para el sitio 10 el promedio de pedregosidad por micrositio respecto a la densidad fue de 30%, con una mediana correlación negativa (-0.5) que afecta a la regeneración, también se observó una pequeña erosión laminar y presencia de plantas anuales (23%) indicándonos que el efecto de las rocas en el renuevo está relacionada con la presencia de material orgánico. En cambio,

para el sitio 9 el porcentaje de rocas presentes por micrositio promedió 27%, lo que nos da como resultado una correlación positiva.

Cuadro 2. Valores de R para cada sitio y los efectos de la pedregosidad a diferentes porcentajes de pendiente.

| Variable | Correlaciones Pedregosidad-Densidad | | | | | | |
|--|-------------------------------------|-----|-----|-----|------|------|------|
| Densidad (Plantas Prom./m ²) | 35 | 23 | 16 | 15 | 14 | 7 | 6 |
| Coefficiente de Correlación (R) | -0.9 | 0.6 | 0.2 | 0.5 | -0.5 | 0.8 | -0.5 |
| Sitio | 11 | 8 | 13 | 9 | 4 | 7 | 10 |
| Pendiente (%) | 27.6 | 81 | 36 | 70 | 67 | 27.5 | 72 |

4.1.3. Correlación pendiente-densidad-altura total y diámetro de la base

Con una correlación significativa de los sitios 1, 6, 7 y 11 y con un rango de pendiente entre 27 y 35 % se observa que la densidad está influenciada también por esta variable, aunque también depende de otros factores, para que exista regeneración. Sin embargo, en pendientes moderados, la germinación de las semillas y el crecimiento de las plántulas es mejor porque al caer las semillas, quedan depositados en ese mismo lugar, dando como resultado germinación y desarrollo (Figura 10).

Para el diámetro de la base, la correlación más significativa fue para el sitio 4 con una valor de 0.55; mientras que el sitio 7 presentó una correlación muy baja; pero respecto a la altura total resultó una correlación relativamente alta (0.6) (Cuadro 3).

4.1.4. Correlación Materia Orgánica (Capa L, F y H) densidad, altura total del renuevo y Diámetro de la base.

En el sitio 8 la correlación de la densidad con la capa H resultó negativa, pues la profundidad de este material fue de 19 mm, pero hubo una densidad mayor a pesar de la mínima cantidad de la capa H. También las subcapas L, F y H tuvieron una correlación negativa. Hubo una alta correlación positiva para el

sitio 1 y 11 con las subcapas L y F (Cuadro 4). Cabe mencionar que en estos sitios el promedio de las pendientes resultaron relativamente bajas.

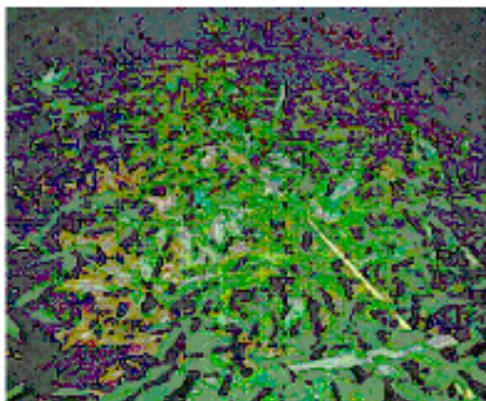


Figura 10. La pendiente como un factor principal en el establecimiento de la regeneración natural.

Cuadro 3. Valores estadísticamente significativos ($\alpha < 0.05$) de la correlación pendiente y las variables densidad, altura total y diámetro de la base.

| Correlaciones entre la Pendiente, la densidad, altura total y diámetro de la base | | | | | | | | | | | |
|---|----------------------------|-----|------|------|------|------|-----|-----|------|-----|-----|
| | Coeficiente de correlación | | | | | | | | | | |
| Sitios | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 7 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| Densidad | -0.3 | 0.5 | | 0.8 | -0.5 | -0.4 | 0.6 | 0.8 | -0.9 | 0.6 | 0.2 |
| Altura total | | | 0.27 | 0.31 | | 0.6 | | | 0.4 | | |
| Diámetro de la base | | | | 0.55 | | 0.36 | | | | | |

Cuadro 4. Densidad promedio por micrositio en cada sitio de 0.1 ha con las correlaciones más significativas con las capa L, F y H para los sitios 11, 1 y 8. Con alfa estimada ($\hat{\alpha}$) menor a 0.05 para cada valor de R

| Variables | Unidad de medida | Coeficiente de Correlación de Pearson | | |
|---------------|------------------|---------------------------------------|------|-------|
| Sitios | | 11 | 1 | 8 |
| Subcapa L y F | (mm) | 0.64 | 0.84 | -0.56 |
| Subcapa H | (mm) | **** | 0.3 | -0.7 |

La correlación existente entre la materia orgánica y el diámetro de la base fueron bajas con 0.3, -0.39 y 0.22 correspondiente para los sitios 1, 4, 6 respectivamente, lo cual quiere decir, estadísticamente, que la materia orgánica influye muy poco en crecimiento de la base de las plántulas.

Cuadro 5. Valores estadísticamente significativos ($\alpha < 0.05$) de la correlación capa L, F y H con las variables altura total y diámetro de la base.

| Sitios | Diámetro de la base | | Altura Total | |
|--------|---------------------|------------|--------------|------------|
| | Capa H | Capa L y F | Capa H | Capa L y F |
| 1 | 0.3 | | 0.2 | |
| 2 | | | 0.32 | |
| 4 | -0.39 | | | 0.29 |
| 5 | | | | 0.61 |
| 6 | 0.3 | | | 0.36 |
| 7 | | | -0.34 | |
| 8 | | | 0.22 | |
| 11 | | 0.2 | | 0.2 |

Solo existe una correlación mínima entre la capa L y F y la altura total, presentando el sitio 5 la más alta correlación con un valor de 0.6; mientras que los otros dos valores subsecuentes 0.29, 0.36 y 0.2 (sitios 4, 6 y 11) fueron menos significativos. La capa L, F y H tiene muy poca influencia en el desarrollo del diámetro de la base, como el sitio 11, con una baja correlación negativa de 0.2 (Cuadro 5).

4.1.5 Correlación vegetación asociada-densidad-altura total-diámetro de la base.

De acuerdo a los datos proporcionados, las herbáceas si ejercen una cierta influencia en la regeneración natural, la correlación resultó negativa en algunos

sitios como 1, 4, 5, 10 y 12. La mayoría de las correlaciones fueron relativamente altas (Cuadro 6).

Cuadro 6. Valores de R para cada sitio y los efectos de la vegetación asociada con la densidad, altura total y el diámetro de la base.

| Correlaciones entre la Competencia-densidad-altura total-diámetro de la base | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| valores de R | | | | | | | | |
| Sitios | 1 | 9 | 4 | 2 | 5 | 7 | 10 | 12 |
| Densidad | -0.55 | -0.01 | -0.51 | -0.65 | -0.72 | | -0.51 | -0.58 |
| Altura Total | | | | | | -0.27 | | |
| Diámetro de la base | -0.31 | | | | | | | |

Respecto a la altura total y el diámetro de la base promedio de las plantas, la correlación fue negativa.

4.2. Comparación de medias para la regeneración.

Al realizar la comparación de medias con el programa Proc GLM L. S. means. Se observa que los sitios tienen una diferencia significativa en cuanto a la densidad se refiere. El análisis de varianza para la comparación de medias se resume en el cual se realizó con n-1 grado de libertad igual a 13, conociendo que los sitios muestreados fueron 14. El total de individuos que se midieron para todos los micrositos fueron 824. El valor de 0.0001 significa que en cada sitio muestreado existe diferencia significativa en relación a la densidad (Cuadro 7).

Mientras que el coeficiente de variación de 36.5 % nos indica que la densidad por sitio se encuentra alejado de la densidad media (19.571 plantas/sitio), lo que nos proporcionan sitios con distribución heterogénea en todo el área de estudio. (Cuadro 8)

Cuadro 7. Análisis de varianza para la comparación de medias de los 14 sitios de muestreo con Proc GLM L. S. means.

| F. V. | G. L. | S. C. | C. M. | F. C. | Pr F |
|-----------------|-------|------------|-------------|--------|--------|
| Model | 13 | 84144.5605 | 6472.6585 | 126.77 | <.0001 |
| Error | 811 | 41409.5414 | 51.0599 | | |
| Total corregido | | 824 | 125554.1018 | | |

Cuadro 8. Parámetros y estimadores para la estimación de la densidad media por sitio en los 14 sitios.

| R-cuadrada | C. V. | Raíz MSE | Densidad Media |
|------------|----------|----------|----------------|
| 0.6702 | 36.51143 | 7.145618 | 19.571 |

El sitio 11 presenta la mejor densidad media (34.57 plantas por m²/sitio) por unidad de muestreo, existe una diferencia significativa respecto a los demás sitios, donde alfa calculada resultó ser < a α (0.05). Las características del sitio 11 se resumen en el Cuadro10. El segundo mejor sitio de refiere al sitio 1 con una densidad media de 30.55 plantas por sitio de 1 m². El sitio 8 presentó una densidad media de 22 plantas por m². Mientras que los sitios 13, 9 y 4 presentaron una igualdad estadística (14, 14.8 y 15.58), respectivamente. En los sitios 3 y 2 tampoco hubo diferencia significativa en cuanto a la comparación de medias su densidad fue 12 y 12.7 para cada sitio (Cuadro 9).

Cuadro 9. Comparación de la densidad media, altura total promedio, diámetro de la base en los cinco micrositios de cada sitio.

| Sitio N° | Densidad plantas/m ² /sitio | Altura total cm | Diámetro de la base mm |
|----------|--|-----------------|------------------------|
| 11 | 34.57 | 19.73 | 2.14 |
| 1 | 30.56 | 13.58 | 1.40 |
| 8 | 22.75 | 19.67 | 2.13 |
| 13 | 15.69 | 20.31 | 2.59 |
| 9 | 14.87 | 15.81 | 1.48 |
| 4 | 14.08 | 23.65 | 3.00 |
| 3 | 12.71 | 19.05 | 2.04 |
| 2 | 12.06 | 15.92 | 1.49 |
| 12 | 11.98 | 19.89 | 2.29 |
| 6 | 7.93 | 16.64 | 1.61 |
| 14 | 7.88 | 30.57 | 3.55 |
| 5 | 7.39 | 15.95 | 1.60 |

| | | | |
|-----------|-------------|--------------|-------------|
| 7 | 6.67 | 16.68 | 1.68 |
| 10 | 5.50 | 17.02 | 1.73 |

Cuadro 10. Datos de la medición de las diferentes variables independientes en relación a la densidad de la regeneración natural del sitio 11.

| Variable dependiente | Cantidad medida | Unidad de medida |
|-----------------------------|------------------------|---------------------------|
| Materia Orgánica | 61.0 | Milímetro (mm) |
| Capa L y F | 38.0 | Milímetro (mm) |
| Pedregosidad | 0.0 | Porcentaje (%) |
| Pendiente | 27.6 | Porcentaje (%) |
| Cobertura de copa | 65.7 | Porcentaje (%) |
| Vegetación asociada | 0.0 | Porcentaje (%) |
| Exposición | Noreste | Cuadrante cardinal |

Como se aprecia en el Cuadro 10, las mejores características, donde se encontró una mayor densidad de la regeneración natural, corresponden a una capa L, F y H gruesa, lo que nos indica que es favorable para el establecimiento de las plántulas (99 mm), con una nula pedregosidad, una pendiente baja y una cobertura de copa del 65%.

Para el sitio 1, que fue al segundo mejor en cuanto a la densidad; también para las variables dasométricas del renuevo como la altura y el diámetro de la base. Las características más sobresalientes de este sitio se resume en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Resultados obtenidos en la medición de las diferentes variables independientes en relación a la densidad de la regeneración natural del sitio 1.

| Variable dependiente | Cantidad medida | Unidad de medida |
|-----------------------------|------------------------|-------------------------|
| Materia Orgánica | 42.23 | Milímetro (mm) |
| Capa L y F | 24.74 | Milímetro (mm) |

| | | |
|---------------------|---------|--------------------|
| Pedregosidad | 0.0 | Porcentaje (%) |
| Pendiente | 56.0 | Porcentaje (%) |
| Cobertura de copa | 36.26 | Porcentaje (%) |
| Vegetación asociada | 7.7 | Porcentaje (%) |
| Exposición | Noreste | Cuadrante cardinal |

Para este sitio, el factor que tuvo mayor influencia en la regeneración natural fue la cobertura de copa o apertura de claros, pues se promedió de los cinco micrositios, habiendo lugares donde la apertura de claros era casi del 70%.

Se observa que para el sitio 10, donde la densidad fue el menor en comparación con todos los sitios, aunque la pendiente no presenta correlación alguna con la densidad, pero por lo pronunciado de esta (79%), la delgada capa L, F y H podemos decir que también influye para que la regeneración no se presente adecuadamente. las características más sobresalientes para el sitio 10 se resume en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Características más sobresalientes del sitio 10

| Variable | Cantidad medida | Unidad de medida |
|---------------------|-----------------|-------------------------------|
| Densidad | 7.00 | Plantas/m ² /sitio |
| Capa L y F | 26.00 | mm |
| Capa H | 21.00 | Mm |
| Vegetación asociada | 23.00 | % |
| Pendiente | 79.00 | % |

4.3. Efecto de las variables altitud, Horizonte "A" y la exposición en la densidad de la regeneración

Al parecer, la densidad de la regeneración natural no está influenciada por la altitud dentro del rango del rodal del bosque de Haya, las distintas exposiciones medidas tampoco denotan diferencia alguna en la regeneración. La profundidad del suelo es importante para el desarrollo de las plantas, pero en este caso, no tuvo diferencia significativa en la densidad del renuevo (Cuadro 13).

4.4 Análisis del arbolado y sus correlaciones con la altitud y la pendiente.

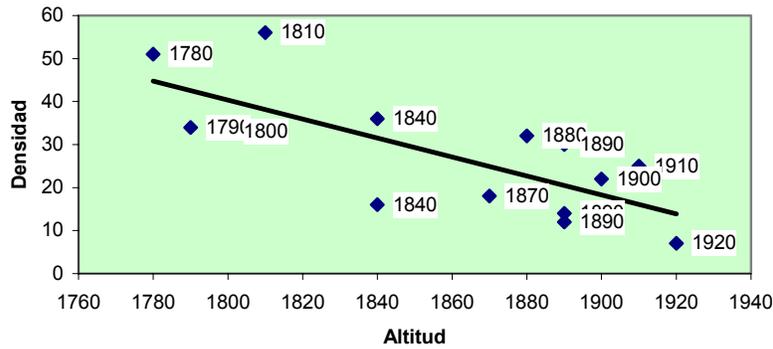
Para el arbolado en sus distintas categorías diamétricas se hizo un análisis de correlación para conocer el comportamiento o la tendencia de la densidad, diámetro normal y altura promedio en los diferentes sitios. Se encontró una alta correlación negativa entre la altitud y el número de árboles promedio por sitio, a mayor altitud menor densidad (Figura 11). El valor del coeficiente de Correlación de Pearson para este caso fue de -0.73 con un alfa estimado \leq a 0.0029 (Cuadro 14), lo que indica que es una correlación altamente significativa.

En los sitios con una altitud mayor, se presentó baja densidad, debido que en estos sitios existe una asociación de *Fagus* y árboles del género *Pinus*, *Quercus*, principalmente, lo que indica que el rango altitudinal influye en la distribución del Haya; mientras que en la altitud media donde se encuentra el rodal, la distribución del Haya es más homogénea en la composición de especies. Los estimadores para la determinación de la correlación se resumen en el Cuadro 14.

Cuadro 13. Comparación de los diferentes sitios con la exposición, Profundidad del Horizonte “A” y la altitud.

| Sitio | Altitud (msnm) | Horizonte. “A” cm | Exposición | Densidad (Plantas Prom./m ²) |
|-------|----------------|----------------------|------------|--|
| 1 | 1890 | 38 | NE | 30.5556 |
| 2 | 1890 | 40 | NE | 12.0612 |
| 3 | 1920 | 10 | NW | 12.7097 |
| 4 | 1910 | 5 | NE | 14.0800 |
| 5 | 1880 | 10 | NW | 7.3871 |
| 6 | 1900 | 12 | NE | 7.9310 |
| 7 | 1890 | 10 | NW | 6.6667 |
| 8 | 1810 | 32 | NE | 22.7500 |
| 9 | 1840 | 25 | NE | 14.8689 |
| 10 | 1790 | 12 | NE | 5.5000 |
| 11 | 1780 | 23 | NW | 34.5700 |
| 12 | 1800 | 29 | NE | 11.9767 |
| 13 | 1840 | 12 | NE | 15.6885 |
| 14 | 1870 | 12 | NE | 7.8824 |

Correlación entre la Densidad y la Altitud



$R = -0.73$

Alfa estimada = 0.0029

Figura 11. Tendencia de la correlación de la altitud respecto al número promedio de árboles por sitio.

Cuadro 14. Estimadores para la determinación de la correlación entre la altitud y la densidad media por sitio.

| Variable | N | Promedio | Desv. Est. | S. C. | Valor mínimo | Valor máximo |
|---|----|--------------------|------------|--------|--------------|--------------|
| Densidad | 14 | 27.5 Árboles/sitio | 14.2435 | 386.00 | 7.00 | 56.00 |
| Altitud | 14 | 1858 msnm | 47.26 | 2610 | 1780 | 1920 |
| Coeficiente de correlación de Pearson: -0.73167 Valor de $\bar{\alpha}$ =0.0029 | | | | | | |

Mientras que para el par de variables densidad y el diámetro a la altura del pecho no hubo correlación alguna ya que alfa calculada es $>$ a l valor propuesto (0.05) para la aceptación de correlación estadística

En cambio, para el diámetro normal, la correlación estadística resultó de un coeficiente de correlación de 0.5 con un alfa calculada de 0.06, a criterio este valor aun es aceptable para establecer la significancia de la correlación (Cuadro 15). También se ilustra la tendencia del par de variables del DAP y la Altitud, donde se observa que la altitud también influye en el crecimiento del diámetro. Esta correlación es positiva

Cuadro 15. Valores para la determinación del coeficiente de correlación de Pearson

| Variable | N | Promedio | Desviación estándar | Suma de cuadrados | Valor mínimo | Valor máximo |
|----------------------|----|----------|---------------------|-------------------|--------------|--------------|
| Altitud (msnm) | 14 | 14 | 47.26009 | 14.09961 | 1780 | 1920 |
| Diámetro normal (cm) | 14 | 28.45 | 14.09961 | 398.3764 | 16.75 | 73.41667 |

R = 0.5; Alfa estimada = 0.06

Indica que a mayor altitud existe un ligero incremento del diámetro o que también pueden ser árboles de mayor edad (Figura 12).

4.5. Comparación de medias para el arbolado

Respecto al número de árboles por sitio, los mejores sitios fueron 8 y 11, los sitios 2, 5, 10, 12 y 13, al parecer se encuentran en la misma posición respecto a la densidad. Los sitios 9 y 18 presentaron un número de árboles similar, por lo que se consideran estadísticamente iguales. Mientras que los 1 y 7 también se encuentran cercanas en cuanto a la similitud de densidades. Por último, el sitio que presentó la menor densidad de arbolado fue el sitio 3, Figura 13 y Cuadro 16.

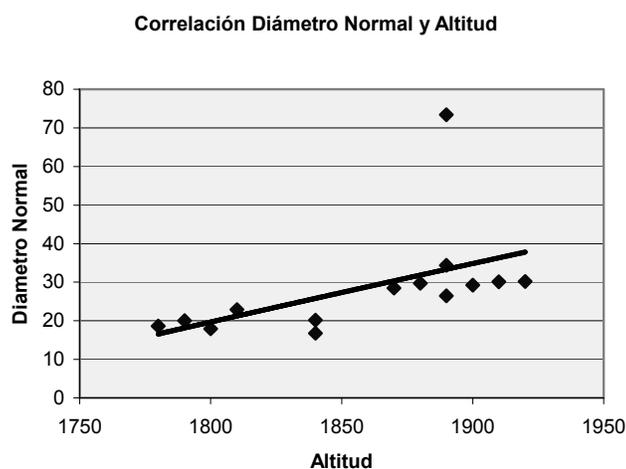


Figura 12. Tendencia de la correlación entre el diámetro normal promedio por sitio y la altitud.

$T_{\alpha} = 0.5$ Alfa Estimada: 0.06

Comportamiento de la Densidad promedio en cada sitio de Muestreo

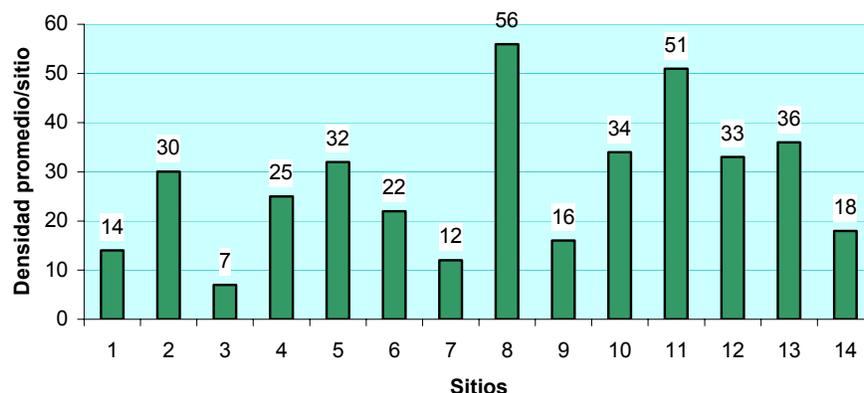


Figura 13. Relación entre los sitios y su densidad promedio.

Cuadro 16. comparación de la densidad media por sitio en los 14 sitios de muestreo.

| Sitio No | Frecuencia | Frecuencia Relativa % | Frecuencia Acumulada |
|----------|------------|-----------------------|----------------------|
| 11 | 51 | 14 | 3.6 |
| 8 | 45 | 12 | 25.5 |
| 13 | 37 | 10 | 35.4 |
| 10 | 34 | 9 | 44.4 |
| 12 | 33 | 9 | 53.2 |
| 5 | 32 | 9 | 61.7 |
| 2 | 30 | 8 | 69.7 |
| 4 | 25 | 7 | 76.3 |
| 6 | 22 | 6 | 82.2 |
| 14 | 18 | 5 | 87.0 |
| 9 | 16 | 4 | 91.2 |
| 1 | 14 | 4 | 94.9 |
| 7 | 12 | 3 | 98.1 |
| 3 | 7 | 2 | 100.0 |

4.6 Estimación de la densidad media por sitio (en los 14 sitios), por hectárea y expansión de totales.

4.6.1 Número de árboles por sitio

Con una confiabilidad del 95% podemos afirmar que el número de árboles promedio por sitio, en los 400 sitios muestreados de 0.1 ha. Está entre los 29 y los 26 árboles/sitio. Con $t_{\alpha/2} (n-1 \text{ g. l.}) = 2.6$. (Cuadro 17).

Cuadro 17. Valores de los estimadores para el cálculo de la densidad promedio por sitio.

| Total | Promedio | Desviación estándar | Varianza | Esperanza esperada promedio | Coficiente de variación (%) | Límite de confianza superior | Límite de confianza inferior |
|-------|----------|---------------------|----------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 386 | 28 | 14.243564 | 202.8791 | 0.6862 | 52 | 29 | 26 |

4.6.2. Número de árboles por hectárea.

Con una confiabilidad del 95% podemos afirmar que el número de árboles promedio de las distintas categorías diamétricas, por hectárea está entre los 294 y los 258 árboles (Cuadro 18).

Cuadro 18. Valores de los estimadores para el cálculo de la densidad promedio por hectárea.

| Promedio/ha | Desviación estándar | Varianza | Esperanza esperada promedio | Límite de confianza superior | Límite de confianza inferior |
|-------------|---------------------|----------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 276 | 142.435642 | 2028.791 | 6.86271958 | 294 | 258 |

4.6.3. Número de árboles estimado en toda el área de estudio.

Con una confiabilidad del 95% podemos afirmar que el número de árboles en los 400 sitios (40 Ha.) estará entre los 11742 y los 10315 árboles de las distintas categorías diamétricas en el área de muestreo (Cuadro 19).

Cuadro 19. Valores de los estimadores para el cálculo de la densidad promedio por todo el área de estudio.

| Promedio/ha | Desviación estándar | Varianza | Esperanza esperada promedio | Límite de confianza superior | Límite de confianza inferior |
|-------------|---------------------|------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 11029 | 5697.42568 | 81151.6484 | 274.508783 | 11742.2943 | 10314.8486 |

4.7 Estructura del rodal

4.7.1 Proporción de los árboles de las distintas etapas de desarrollo respecto a la regeneración natural.

Cano (1988) propuso una clasificación de los árboles en distintas clases de desarrollo, con base a esta propuesta se realizó una clasificación para el bosque de haya (Cuadro 20). La proporción resultante para cada grupo respecto a la regeneración natural contra el resto de la población se representa en la Figura 14. Significa, por lo tanto, que se mantiene en una densidad adecuada para la continuidad a las siguientes fases de edades.

Por otra parte, excluyendo a la regeneración natural de la proporción para el análisis de la población de haya, se observa que las fases mas representativas, en porcentajes, son el latizal y monte bravo (24 y 22%, respectivamente); mientras que las fases brinzal y vardascal se comportan similares (18 y 15%). Se aprecia, además, que el viejo fustal ocupa un lugar importante dentro de la estructura de edades (Figura 15).

Cuadro 20. Clasificación de las masas en México de acuerdo con Cano (1988).

| Estado de desarrollo del rodal | Diámetro normal cm |
|--------------------------------|--------------------|
| Regeneración | **** |
| Brinzal | < de 5 |
| Monte bravo | 5-10 |
| Vardascal | 10-15 |
| Latizal | 16-35 |
| Joven fustal | 36-40 |
| Medio fustal | 41-50 |
| Viejo fustal | > de 50 |

4.7. .2 Crecimiento en altura del arbolado.

Se realizó una relación de la categoría diamétrica y todas las alturas individuales y se encontró que la altura tiende a crecer conforme el diámetro incrementa hasta

la categoría diamétrica correspondiente a 60 cm a partir de esta fase las altura se comportan de manera irregular (Figura 16).

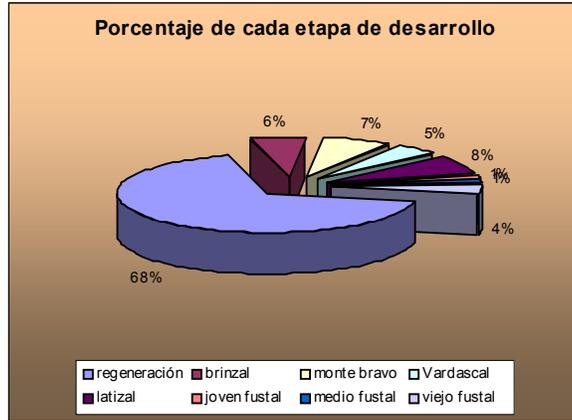


Figura 14. Representación de la proporción de la regeneración natural respecto al restos de la población de Haya.

Porcentaje en relación los árboles de distintos diámetros

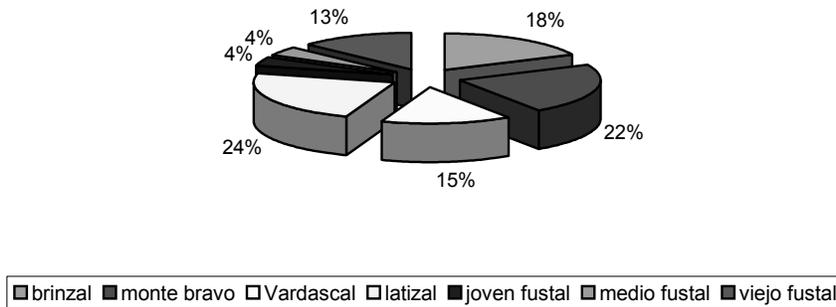


Figura 15. Representación de la proporción del arbolado en sus diferentes clasificaciones.

4.7.3 Relación diámetro-altura

Para la relación diámetro-altura el modelo que más se ajusta es la de logaritmos $A = \alpha * D^\beta$. Este modelo nos predice el comportamiento de la altura a medida que el diámetro aumenta. La correlación existente para esta dos variables es de 0.85, cuyos valores para el cálculo de la regresión no lineal es

la siguiente: $\text{Log } A = (0.7744) - 0.3036 \text{ Log } D$ o también $A = 5.94 * D^{0.3036}$.
 La Figura 17 nos indica que a mayor diámetro, la altura se mantiene constante.

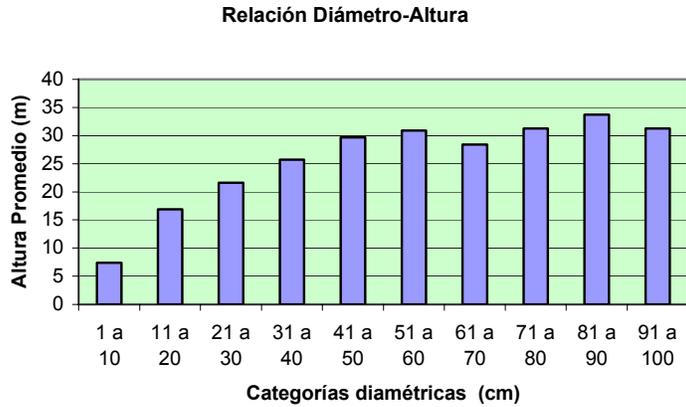


Figura 16. Relaciones entre las diferentes categorías diamétricas y la altura promedio por sitio.

Esta tendencia es normal, sobre todo cuando los árboles ya no crecen en altura, en este caso, no quiere decir que la altura descienda, sino que se mantiene constante en promedio, aunque algunos árboles puedan rebasar la altura media y llegar hasta los 45 m de altura. Cabe mencionar que en los sitios muestreados no se encontraron árboles con semejantes dimensiones.

El área basal se obtuvo a partir del diámetro a la altura del pecho (1.30 m) la fórmula que se empleó para dicho cálculo fue:

$$G = (\pi * D^2) / 4 \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

G: Área basal (m²)

π : 3.1416

D: diámetro a la altura del pecho de cada individuo (m)

El cálculo del volumen se realizó sin ningún valor de coeficiente mórfico y se obtuvo de la fórmula $V = G * AT \dots\dots\dots (6)$

Donde: G: Área basal (m²); V: volumen (m³); AT: Altura Total de cada árbol

(m).

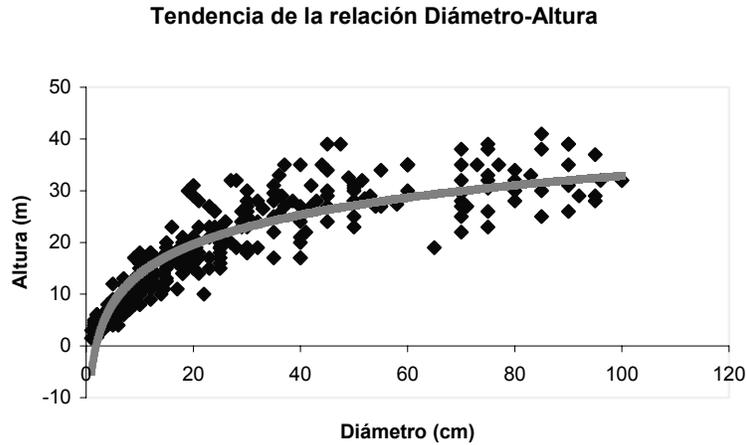


Figura 17. Tendencia de la relación del diámetro normal de todos los árboles respecto a su altura.

Los resultados se muestran en el Cuadro 21, si bien estos sitios presentaron una densidad baja, pero el área basal y el volumen se van incrementados para los tres primeros sitios (1, 2, 3, y 4), estos sitios se ubicaron, junto con el sitio 7, en altitudes altas donde termina el límite de distribución del Haya y se aprecia que el área basal es ligeramente mayor.

La relación resultante es una línea recta y el modelo que más se ajustó a estas dos variables es: $V = \alpha + \beta * D + E$
(7)

Con los valores calculados de α y β se obtuvo la siguiente ecuación para conocer el comportamiento del volumen en relación al área basal:

$$V = -0.47718506 + 32.531471 D + E$$

(8)

Donde: $\alpha = -0.47718506$; $\beta = 32.531471$; $R^2 = 0.995245$

La R^2 nos indica que el modelo propuesto es altamente significativo para esta relación. La Figura 18 representa la correlación y la tendencia existente entre el área basal y el volumen estimado.

Cuadro 21. Resultados del cálculo del área basal y volumen promedio por sitio de muestreo.

| Sitio N° | Altura m | Diámetro cm | Diámetro m | Área basal m² | Volumen m³ |
|-----------------|-----------------|--------------------|-------------------|---------------------------------|------------------------------|
| 1 | 23.07 | 34.39 | 0.34 | 2.21 | 5.43 |
| 2 | 11.38 | 29.27 | 0.29 | 0.11 | 7.91 |
| 3 | 26.71 | 42.57 | 0.43 | 0.14 | 4.63 |
| 4 | 26.44 | 26.14 | 0.26 | 0.05 | 2.90 |
| 5 | 18.42 | 22.86 | 0.18 | 0.03 | 0.76 |
| 6 | 18.55 | 30.14 | 0.30 | 0.07 | 3.16 |
| 7 | 33.42 | 73.42 | 0.73 | 0.42 | 0.31 |
| 8 | 13.57 | 20.05 | 0.20 | 0.03 | 2.56 |
| 9 | 17.63 | 30.19 | 0.30 | 0.07 | 2.36 |
| 10 | 16.06 | 20.19 | 0.20 | 0.03 | 0.93 |
| 11 | 15.15 | 17.92 | 0.18 | 0.01 | 0.41 |
| 12 | 15.15 | 17.92 | 0.18 | 0.03 | 1.45 |
| 13 | 12.92 | 13.69 | 0.14 | 0.00 | 0.28 |
| 14 | 14.11 | 16.75 | 0.17 | 0.02 | 0.92 |

4.7.5.1 Distribución de edades.

Para la relación de edades se empleó el diámetro del fuste a la altura del pecho, lo que nos proporciona una visión general de la estructura de edades. Se observó que la abundancia del renuevo de *Fagus* y los individuos jóvenes disminuyen conforme el diámetro aumenta, o sea a mayor edad del arbolado (Figura 19). De acuerdo con Cano (1988), en la gráfica de la Figura 19 la mayoría de los individuos son jóvenes correspondientes a la fase brinzal y monte bravo; mientras que en los viejos fustales se nota un decremento significativo. Por lo tanto, de acuerdo a la información, el rodal se compone mayormente de individuos muy jóvenes.

Correlación Área Basal-Volumen

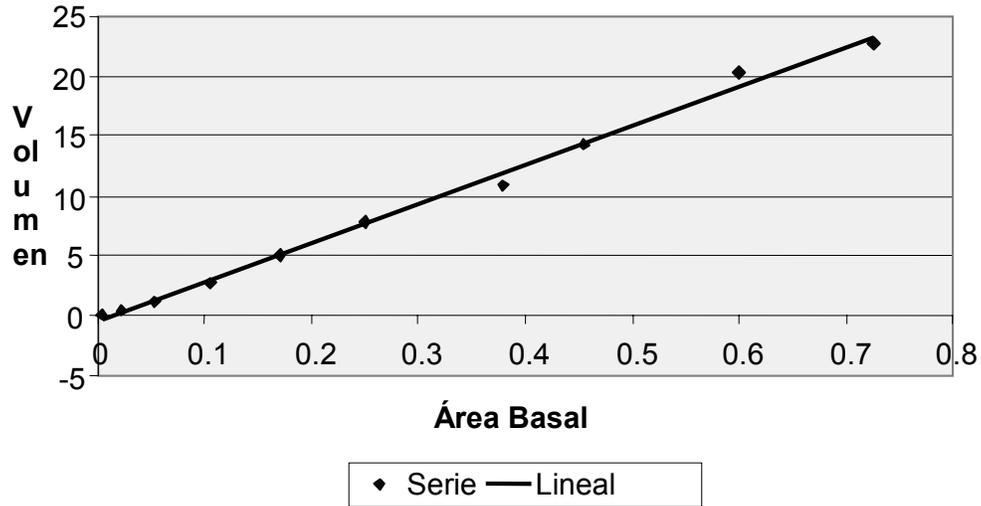


Figura 18. Tendencia del volumen respecto al área basal del arbolado de *Fagus*.

Cuadro 22. Análisis de varianza para la regresión lineal simple empleada para la relación área basal - volumen.

| Fuente | G. L. | S.C. | C. M. | F. C. | Pr > F |
|-----------|-------|--------|-------------|---------|--------|
| Modelo | 1 | 612.95 | 612.9552495 | 1674.45 | <.0001 |
| Error | 8 | 2.92 | 0.3660630 | | |
| Total | 9 | | | | |
| Corregido | 9 | 615.88 | R = .099 | | |

Número de individuos por categoría Diamétrica

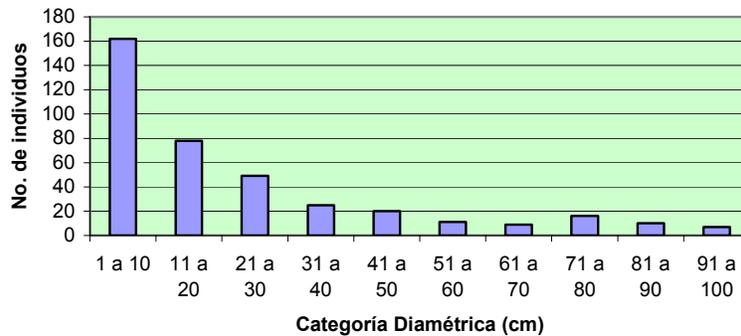


Figura 19. Distribución de edades considerando el número de individuos en relación a la categoría diamétrica.

5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

5.1 Regeneración natural.

Por la dinámica del bosque, el proceso de regeneración natural en el rodal de haya se considera satisfactoria, pues la proporción respecto al resto del arbolado es alta (67%), con referencia a los árboles de mayor edad. Los factores que más intervienen para que este ciclo se lleve a cabo, fueron la pendiente, pedregosidad, apertura de claros, la capa orgánica L, F y H. Respecto a esta última variable, Spurr y Barnes (1980) mencionan que la deficiencia de nitrógeno en los suelos donde se ha removido esta capa, es muy alta, las correlaciones para este estudio también nos indican que a mayor profundidad de esta capa, la regeneración se ve favorecida. Además, la hojarasca tiene una relación con el establecimiento del renuevo pues retiene las semillas, generando al mismo tiempo, la cama de germinación y el banco de semillas, ayudando a su conservación hasta que germinen, lo que facilita la regeneración natural.

A pesar que el sotobosque del haya se presenta en menor intensidad, la densidad de algunos micrositios se ven afectados por la competencia de herbáceas, si bien éstas son anuales, pero por su rápido crecimiento tal vez impidan que las semillas del haya germinen adecuadamente y para los que llegan a germinar y crecer, posiblemente año con año se ejerce la misma competencia. En algunos casos la correlación existente entre la altura de las plantas de *Fagus* y la competencia es positiva, tal vez sea por competencia de luz.

La regeneración es mas satisfactoria en los micrositios donde las condiciones ambientales permiten la germinación de las semillas y crecimiento de las plántulas y de acuerdo con Zavala (2000), quien nos dice que "la incorporación de las plántulas se lleva a cabo cuando las condiciones son favorables". Para este caso se encontró un abundante renuevo en lugares perturbados por la caída de un árbol.

La pedregosidad, a nivel micro, aporta nutrientes y minerales para enriquecimiento del micrositio; además en pendientes pronunciadas retiene las semillas, facilitando así la germinación.

Braun-Blanquet, (1979) dice que la lucha entre individuos de la misma especie es mayor en el estadio de plántula cuando los individuos están muy juntos y la sociabilidad es alta. Con base a esta afirmación se puede decir que la alta densidad de renuevo de algunos sitios con el tiempo irá disminuyendo, hasta que solo unos cuantos árboles logren sobrevivir.

El bajo porcentaje de pendiente parece influir directamente en la regeneración natural, como se observó en algunos micrositios; pero con los años se seleccionan los individuos más fuertes que entran a colonizar y formar parte de la estructura del bosque; mientras que en los sitios con fuertes pendientes, a nivel micro, la densidad es menor; aunque por la escasa competencia intraespecífica podría darse el caso de que la plántula crezca mejor,

Respecto a la exposición de las laderas, por ser el área del haya muy restringida, en cuanto a su distribución, el microambiente formado por este factor tiende a ser homogéneo, asimismo la altitud no varía mucho en el rodal (de 1780 a 1920 msnm), por lo tanto, tampoco se nota diferencia significativa de la densidad de regeneración, pero sí del arbolado, respecto a este factor. Aunque la profundidad del suelo también se relaciona con el crecimiento de las plantas, tampoco se observó diferencia alguna con la regeneración natural ni con los individuos de mayor edad.

En algunos sitios se encontró que el hombre ejerce cierta influencia para la continuidad del proceso, lo cual sucede en los lugares más próximos a la carretera, por ejemplo, en el sitio 7, el cual se ubicó a los 1900 msnm, se encontraron troncos de árboles jóvenes. En un proyecto del estudio de la ecología de *Fagus*, Ehnis, (1981), encontró que el renuevo se ve disminuido en un transecto, el cual se hallaba muy cercano a la carretera.

5.2. Densidad del arbolado.

La densidad del arbolado en el bosque de Haya para este estudio numéricamente es similar a los datos reportados por Ehnis en 1891, este autor encontró que el promedio de árboles por hectárea fue de 262.6 ± 14.96 por hectárea, lo cual no difiere mucho con los datos obtenidos en esta ocasión (Entre 294 y 258 árboles/ha), límite superior e inferior, respectivamente con una desviación estándar de 142.435642. Asimismo de acuerdo con el autor la desviación estándar indica la heterogeneidad de distribución de *Fagus* que, a la vez, está relacionada con la topografía accidentada que da lugar diferentes microhábitats. Pérez, (2001), menciona que el número de total de árboles en el bosque de haya en Zacualtipán es de alrededor de 10 000 individuos. Como se observa los datos numéricos en los diferentes estudios son afines.

5.3. Distribución de edades.

Además se observa que la categoría de 71 a 80 cm presenta un aumento considerable, o sea que la ascendencia no es del todo uniforme. Ehnis (1981) obtuvo un resultado similar para Zacualtipán así como para Teziutlán, Puebla. Este autor supone que este factor se debe a que en el pasado hubo una perturbación en el bosque.

Braun-Blanquet (1979) nos dice que en 1920 Morosov, contó en una hectárea 1'048'660 hayas de 10 años; ya en la población pura de 50 años aún vivían 4460 en la misma superficie y a los 120 años solo quedaban 506 árboles. El crecimiento continuo, cerrado y denso del bosque permite que uno de cada 2000 hayas jóvenes se desarrollen completamente. Para el sitio descrito por Braun-Blanquet, la densidad era mucho mayor que nuestro sitio de estudio; pero el comportamiento de la regeneración es el mismo.

En un estudio de la dinámica del crecimiento del haya en Estados Unidos, se encontró que el crecimiento del árbol es muy lento según se aprecia en el Cuadro 23 y Figura 20, cada 20 años solo hay un aumento de 4 cm de diámetro, donde, este autor menciona que a los 51 cm de diámetro el árbol ya

tiene la edad de 250 años. Al realizar una comparación del Haya mexicano y promediar los diámetros y las alturas de acuerdo a los datos del Cuadro 23, se obtuvieron datos similares los cuales se observan en el Cuadro 24.

Cuadro 23. Características de crecimiento del haya americano. (Fuente: http://www.na.fs.fed.us/spfo/pubs/silvics_manual/volume_2/fagus/grandifolia.htm).

| Edad Años | Diámetro normal cm | Altura m |
|--------------|-----------------------|-------------|
| 20 | 2 | 4 |
| 40 | 6 | 8.5 |
| 60 | 10 | 11.9 |
| 80 | 14 | 14.6 |
| 100 | 18 | 17.4 |
| 150 | 29 | 22.9 |
| 200 | 40 | 25.6 |
| 250 | 51 | 26.8 |

Cuadro 24. Características de crecimiento del haya mexicano en los bosques Zacualtipán, Hidalgo.

| Diámetro normal cm | Altura m |
|-----------------------|-------------|
| 2 | 4.0 |
| 6 | 7.0 |
| 10 | 13.2 |
| 14 | 14.9 |
| 18 | 17.4 |
| 29 | 24.3 |
| 40 | 23.3 |
| 51 | 28.4 |

Relación entre la Edad y el Diámetro Normal

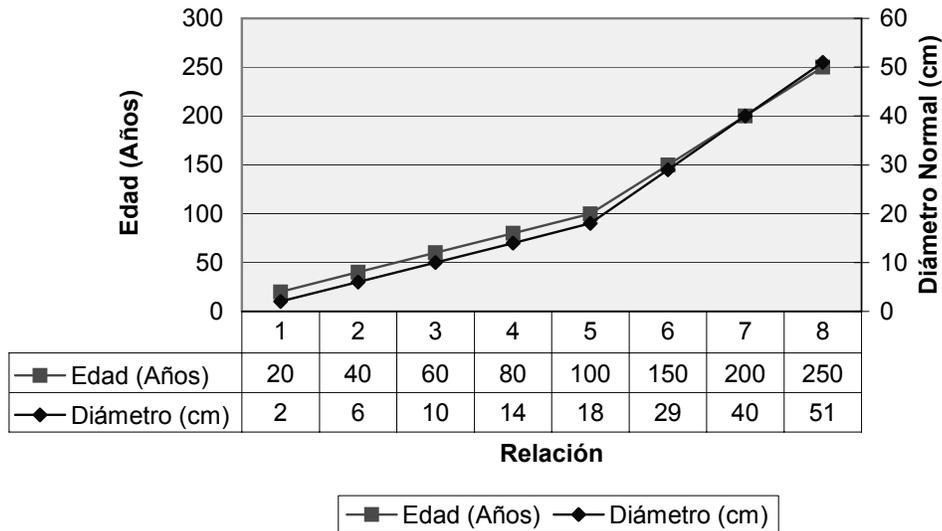


Figura 20. Edad del haya en relación con el diámetro normal. Datos tomados de (U.S. Department of Agriculture, Forest Service, citado por Tubbs y Houston, 2003).

Aunque los lugares de toma de datos son distintos, se puede atribuir la edad del haya americano como similar al desarrollo de los bosques de haya en México. Lasse (1944) menciona que el *Fagus* tiene una abundante producción de semillas a la edad de 60 años, viéndolo de esta manera, quizás la producción de semillas se dé a partir de 10 cm de diámetro, como promedio. Los datos son razonables pues el renuevo de 4 años de edad en Zacualtipán alcanza los 14 cm de altura como promedio, considerando que el año semillero es cada 7 años y el último año semillero fue en 1999.

En el Cuadro 25 se muestra la edad mínima de producción de semillas en los Hayas de la Comunidad Británica, donde reporta que la edad oscila entre 50 a 60 años, con un intervalo de producción de 5 a 15 años. Son las características semejantes mencionadas por Lasse (1944) y Sackville y Chorlton (1997), para los bosques de México y Estados Unidos, respectivamente.

El tamaño del claro formado en este tipo de bosque si es necesario considerarlo, ya que entre mas grande sea, existe mayor posibilidad que entren

a colonizar especies nuevas, ya sea anuales o perennes, que año con año ejercerán competencia en la germinación y desarrollo de las plántulas del haya.

Cuadro 25. Producción de semillas del haya en la Comunidad Británica (Tomado de Evans, 1984).

| Edad mínima reproductiva Años | Intervalo entre año semillero Años | Edad en la declinación de producción de semillas Años | Época de dispersión de las semillas Meses |
|-------------------------------|------------------------------------|---|---|
| 50 a 60 | 5 a 15 | 160 | Septiembre a Noviembre |

Nota: A los 200 años de edad, el Haya puede producir semillas en intervalos mas largos y a los 180 años se dice que el Haya es una especie madura.

Para este estudio, se observó que los árboles de menor edad constituyen la mayoría del rodal entre la categoría diamétrica de 10 a 20 cm; mientras que aquellos con diámetros mayores disminuyen, o sea que los árboles viejos ocupan una menor densidad en el sitio. Muchas veces estos se caen por la fuerza del viento, lo que ocasiona una apertura de claros, que da como resultado, la incorporación de renuevos.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES:

1. La regeneración natural es satisfactoria en el bosque de haya de Zacualtipán, Hidalgo.
2. Los factores que influyen para la regeneración natural son, a nivel micrositio, la pendiente, la apertura de claros, la capa L y F, los cuales presentaron las correlaciones más altas.
3. En las pendientes pronunciadas las rocas influyen para la retención de las semillas facilitando la regeneración.
4. Las herbáceas ejercen cierta competencia al renuevo.
5. La altitud ejerce límites en el rango de distribución del haya,
6. La exposición, la profundidad del horizonte "A" y la altitud, no tienen mucha influencia en la densidad de la regeneración natural..
7. La estructura de edad es heterogénea en el bosque de *Fagus*.
8. En altitudes mayores existe menor cantidad de árboles, pero con un promedio mayor en diámetro y altura.
9. El número de plantas por unidad de superficie se ha mantenido, así como la estructura de edad permanece constante, lo que indica que no ha habido perturbaciones o sea que el ciclo biológico del haya no es interrumpido.
10. El haya se encuentra amenazada o en peligro de extinción, por lo que debe protegerse.
11. Estadísticamente, el diámetro y la altura de la regeneración natural no está influenciada la profundidad del horizonte "A" y exposición.
12. El rodal del bosque de haya se compone en su mayoría de individuos jóvenes.

6.2 RECOMENDACIONES:

1. Se precisan más estudios para ver el comportamiento del renuevo cuando existe una apertura de claros, porque si bien, estos germinan, pero por su carácter tolerante podría no desarrollarse o quizás su crecimiento sea aun más rápido.
2. Estudiar el mecanismo de germinación de las semillas en distintas intensidades de iluminación y darle posterior seguimiento durante toda la fase de desarrollo de la planta.
2. Llevar a cabo pruebas para conocer la adaptabilidad del haya en otras regiones con características similares en las cuales se desarrolla. De esta manera se contribuirá a una mejor conservación de la especie.
3. Realizar observaciones en la producción de semillas en los árboles de diferentes clases diamétricas, para conocer su comportamiento, pues algunos investigadores señalan que a cierta edad (60 años) al haya es más productivo.
4. En relación a los disturbios humanos, es necesario dar mayor información a los ciudadanos de la importancia de esta especie.
5. Para un mejor aprovechamiento del recurso, se podría realizar un sendero ecoturístico controlado, que proporcione todo tipo de información de los componentes del rodal, pues se observa, que el área es visitado por la gente, que sin saber la importancia de *Fagus* tienden a dañar, por ejemplo la corteza del árbol, dejando "recuerdos" en su paso.
6. De ser posible, extraer árboles derribados o plagados para darle un uso, pues de esta manera se estará evitando posibles incendios o la propagación de plagas y enfermedades.

8. LITERATURA CONSULTADA

ARTEAGA M., B. 1983. Influencia del suelo y las características fisiográficas en el crecimiento de *Pinus radiata* D. Don., en Ayotoxtla, Guerrero. Tesis

- Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Bosques. Chapingo, México. 181 p.
- BRAUN-BLANQUET J. 1979. Fitosociología base para el estudio de comunidades vegetales. Ed. Blume. Madrid, España. 819 p.
- CABALLERO D., M., y ZECERERO L., G. 1972. Estudio de una plantación comercial de coníferas. Subsecretaría Forestal y de la Fauna. Boletín No. 2. México, D. F. 108 p.
- CANO C., J. 1988. El sistema de manejo regular en los bosques de México. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 221 p.
- CAPON B. S. 1994. A hostile world. Ed. Timber. Oregon, U.S.A. 131 p.
- CLARKE G., L. 1975. Elementos de ecología. Ed. Omega. Barcelona, España. 615 p.
- DANIEL T. W.; HELMS, J. A.; BAKER, F. S. 1982. Principios de Silvicultura. Trad. Ramón Elizondo. Ed. Mc-Graw-Hill. México D. F. 482 p.
- DAUBENMIRE R. F. 1988. Ecología Vegetal: Tratado de autoecología de las plantas. Ed. Limusa. México, D. F. 496 p.
- DE LAS SALAS, G. 1987. Suelos y ecosistemas forestales: con énfasis en América tropical. Instituto de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 447 p.
- EHNIS D., A. 1981. *Fagus mexicana* Martínez: Su ecología e importancia. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México: Facultad de Ciencias. México, D. F. 123 p.
- EVANS J., B. 1984. Silviculture of broadleaved woodland. Forestry Commission. Bulletin 62. 50 p.

- GARCÍA, E. 1976. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (Para adaptarlo a las condiciones de la República mexicana). Ed. Talleres Offsel Larios. México, D. F. 217 p.
- GRANADOS S., D. y LÓPEZ R. G. F. 2000. Sucesión ecológica. Dinámica del ecosistema. Universidad Autónoma Chapingo. Dirección General de Difusión Cultural. Chapingo, México. 197 p.
- GRANT V., 1989. Especiación Vegetal. Ed. Limusa. México, D. F. 587 p.
- HAWLEY R., Ch. y Smith O., M. 1954. Silvicultura práctica. Ed. Omega. Barcelona, España. 544 p.
- HAWLYN G., J. 1992. Plants and microclimatic: a quantitative approach to enviromental plant physiology. Cambridge, University. New York, U.S.A. 428 p.
- JAHN G., 1982. Aplication of vegetation sciencie to forestry. Junk Publishers. Boston, U.S.A. 405 p.
- LASSE R., W. 1944. El Haya. Tesis de licenciatura. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México.
- LINARES R., Y MARTÍNEZ., H. H. 1991. La regeneración natural temprana del bosque de Cativo, en Choco, Colombia. CONIF. Serie Técnica No. 30. Bogotá, Colombia. 25 p.
- NEIRA M., Y MARTÍNEZ M., F. 1973. Terminología forestal española. Ed. Rev. Ministerio de Agricultura. Madrid, España. 480 p.
- OLIVER C. D. y LARSON B. C. 1990. Forests stand dynamics. Ed. Mc-Graw-Hill. Yale, U.S.A. 467 p.
- PÉREZ R., P. M. 1999. LAS HAYAS DE MÉXICO: Monografía de *Fagus grandifolia* Ehrh. ssp. *mexicana* Martínez. Universidad Autónoma

- Chapingo. Dirección General de Difusión Cultural. Chapingo, México. 43 p.
- PERRY, D., A. 1989. Maintaining the long-term productivity of pacific north west ecosystem. Timber pres. Oregón, U.S.A. 256 p.
- PRITCHETT W., L. 1986. Suelos Forestales, propiedades, conservación y mejoramiento. Trad. José Hurtado Vega. Ed. Limusa. México, D. F. 634 p.
- REBOLLEDO R. H. H. 2002. Manual SAS por Computadora: Análisis de datos experimentales. Ed. Trillas. México, D. F. 207 p.
- RECORD S., J. and HESS., R. W. 1949. Timbers of New World. Yale University. 640 p.
- ROMANH DE LA V., C. F. 1994. Dendrometría. Universidad Autónoma Chapingo. Dirección General de Difusión Cultural, Chapingo, México. 353 p.
- SACKVILLE H., N. R., and CHORLTON., K. H. 1997. Regeneration of accessions in seed collections: a decision guide. Handbook for genebanks No. 5 Institute of Grassland and Enviromental Research. 75 p.
- SMITH L. R. 1977. Elements of ecology and field biology. Harper Publishers. N. Y., U.S.A. 270 p.
- SPURR S. H. Y BARNES B. V. 1980. Forest ecology. AGT Editors. U.S.A. 690 p.
- TERRAZAS J., 2001. Ecología de la vegetación. De la ecofisiología de las plantas a la dinámica de comunidades y paisajes. Ed. Omega. Barcelona, España. 703 p.

TUBBS C. H.; HOUSTON D. R. 2003. *Fagus grandifolia* ehrh. American Beech.

http://www.na.fs.fed.us/spfo/pubs/silvics_manual/volume_2/fagus/grandifolia.htm.

USDAFS SILVICS OF NORTH AMERICA. 2003. American beech Fagaceae *Fagus grandifolia*.

<http://www.cnr.vt.edu/dendro/dendrology/syllabus/fgrandifolia.htm>.

U.S.D.A, 1965. Silvics of forest trees of the United States. H. A. Fowells, comp. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Forest Service Handbook 271. Washington, DC. 762 p

WALTER H., 1977. Zonas de vegetación y clima. Breve exposición desde el punto de vista causal y global. Ed. Omega. Barcelona, España. 245 p.

WEAVER J. E. Y CLEMENTS F. E. 1944. Ecología vegetal. Ed. Acme. Buenos Aires, Argentina. 667 p.

YOUNG R., A. 1982. Introduction to forest Science. Ed. John Wiley & son. Wisconsin, U.S.A. 554 p.

ZAVALA C. F. 2000. Introducción a la ecología de la regeneración natural de encinos. Universidad Autónoma Chapingo. Dirección General de Difusión Cultural. Chapingo, México. 94 p.