



Ra Ximhai

ISSN: 1665-0441

raximhai@uaim.edu.mx

Universidad Autónoma Indígena de México
México

Martínez-Ruiz, Rosa; Rojo-Martínez, Gustavo E.; Jasso-Mata, Jesús
Análisis del crecimiento y producción de látex en plantaciones forestales comerciales de hule (hevea
brasiliensis muell arg.) en el estado de Oaxaca, México
Ra Ximhai, vol. 3, núm. 2, mayo-agosto, 2007, pp. 565-578
Universidad Autónoma Indígena de México
El Fuerte, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46130218>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto



ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE LÁTEX EN PLANTACIONES FORESTALES COMERCIALES DE HULE (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.) EN EL ESTADO DE OAXACA, MÉXICO

ANALYSIS OF GROWTH AND LATEX PRODUCTION IN COMMERCIAL FOREST PLANTATIONS OF RUBBER (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.) IN THE STATE OF OAXACA, MEXICO

Rosa **Martínez-Ruiz**¹, Gustavo E. **Rojo-Martínez**² y Jesús **Jasso-Mata**³

¹Programa de Ingeniería Forestal de la Universidad Autónoma Indígena de México. Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. Correo Electrónico: ruizrosa@yahoo.com.mx. ²Profesor – Investigador del Programa Educativo de Ingeniería Forestal de la Universidad Autónoma Indígena de México. Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. Correo Electrónico: grojomtz@yahoo.com.mx. ³Profesor-Investigador del Programa Forestal del Colegio de Posgraduados, Montecillo, Estado de México. Correo Electrónico: jejama@colpos.mx.

RESUMEN

Se seleccionaron 41 plantaciones en la región del Papaloapan; estas no presentaban evidencias de daños por plagas, enfermedades o acciones mecánicas; tienen un espaciamiento de 6 x 3 m y cubren edades de 1 a 42 años. En cada plantación se trazaron sitios de 1000 m² y se enumeraron consecutivamente los árboles incluidos en ellas. Se midieron 2255 árboles en total a los cuales se les midió la siguiente información: grosor de corteza (gc), altura de fuste limpio (altf), altura total (altt), diámetro normal (dpa), proyección de copa norte-sur y este-oeste y a 1562 árboles la producción de látex en kg/árbol/año. Con el objetivo de establecer el grado de asociación entre la producción de látex y las variables dasométricas, para esto se empleo el paquete estadístico SAS (SAS Institute Inc., 1991). De acuerdo a la comparación de los 4 modelos matemáticos para predecir el volumen comercial del clon IAN-710 de *Hevea brasiliensis* Muell Arg. El modelo de la ecuación logarítmica y la ecuación australiana presentaron los mejores ajustes para la predicción del volumen. Sin embargo, se eligió el modelo logarítmico por la mejor distribución de valores residuales y por ser más fácil de aplicar que la ecuación australiana. La ecuación elegida expresas en su forma exponencial es: $V = 0.02882823 * D^{2.24237} H^{0.74475}$

Palabras clave: Modelos de crecimiento, predicción, látex.

SUMMARY

Were selected 41 plantations in the region of Papaloapan; these didn't present damage by plagues, disease or mechanic action; have a space of 6 x 3 m and ages from 1 to 42 years. In each plantation were design sites of 1000 m² whose trees were enumerated consecutively. Were measured a total of 2255 trees from which were obtain the next data: thick of bark (gc), height of clean wood (altf), total height (altt), diameter normal (dpa), projection of canopy north-south and east-west and to 1562 trees were measured the latex production in kg/tree/year. With the objective to establish the grade of association between the latex production and the dasometric variables, to reach this goal were used the statistics programme SAS (SAS Institute Inc., 1991). According to comparing four mathematic models to predict the commercial volume of clon IAN-710 of *Hevea brasiliensis* Muel Arg. The model of the logarithmic equation and the Australian equation present the best adjustment to predict the volume. Nevertheless, the logarithmic model was elected because present the best distribution of residual values and because it's easier to handle than Australian equation. The equation elected expressed in it's exponential form is: $V = 0.02882823 * D^{2.24237} H^{0.74475}$

Key words: Growing models, prediction, latex.

INTRODUCCIÓN

Una de las especies que se adaptan a las selvas altas y medianas es sin duda el Hule (*Hevea brasiliensis* Muell arg.), pero actualmente la posibilidad del aprovechamiento a sido limitado y existe poca información cuantitativa sobre crecimiento, incrementos y producción de látex en plantaciones forestales comerciales.

Las ecuaciones de tablas, tanto de volumen, como de biomasa, y del rendimiento de latex, son herramientas útiles que permitan predecir con bastante exactitud los volúmenes, peso y producción de materia prima de las especies forestales en función de un número más o menos reducidos de parámetros obtenidos de árboles en pie.

A pesar de ello, la disponibilidad de las mismas para las especies forestales, principalmente para latifoliadas, es muy reducida y para muchas no existen en el país, como es le caso del *Hevea brasiliensis* Muell Arg. El árbol del hule es una especie exótica (Figura 1 y 2) en México con un gran potencial económico, por su rápido crecimiento y su doble aprovechamiento; látex y después de 35 años de aprovechamiento, su madera para la fabricación de muebles.

Las plantaciones forestales comerciales de hule en el estado de Oaxaca, tienen como finalidad tener un óptimo crecimiento con la finalidad de tener una producción de látex competitiva a nivel mundial. Pero no existen los estudios de análisis de crecimiento y producción de látex en las regiones de producción.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación geográfica

La región del Papaloapan en Oaxaca, se localiza al noroeste de dicho estado, entre las coordenadas 17° 20' y 18° 36' de latitud Norte y 95° 42' y 95° 42' y 96° 41' longitud Oeste del meridiano de Greenwich, con variación entre los 20 y 880 msnm. Dentro del área de influencia de los Distritos Políticos 07 Choapan y 06 Tuxtepec, la región tiene 352,601 hectáreas de superficie ejidal y 75,885 hectáreas de superficie comunal, las cuales son de uso pecuario, agrícola y forestal. Dicha región está integrada por 20 municipios, los cuales engloban 530 localidades; se destacan 9 municipios en donde actualmente se localizan explotaciones de hule y son: Santiago Jocotepec y Santiago Llaveo, por el distrito de Choapan; San Juan Bautista Tuxtepec, San José Chitepec, San Juan Bautista, Valle Nacional, San Lucas Ojitlan, Loma Bonita, Santa María Jacatepec, y Acatlán de Pérez Figueroa, por el Distrito de Tuxtepec.

Esta región se caracteriza por estar en la planicie costera también llamada llanura del Golfo de México con alturas promedio de 180 m.s.n.m; las corrientes de agua son: los ríos Papaloapan y Tonto, las abundantes lluvias aumentan los caudales de sus redes originan que la mayoría de los cultivos sean de temporal. Para controlar las crecientes de estos ríos se construyeron las presas de Temascal y Cerro de Oro.

La precipitación anual varía de 1600 a 4000, mm. su media es de 2325 mm, el período de lluvias es variable y comienza en junio a noviembre. Las máximas precipitaciones son en el mes de julio y las mínimas en los meses enero y febrero. La temperatura media anual es de 25° C, las mayores temperaturas se registran en el mes de mayo mientras que las mínimas se observan en el mes de enero. Los vientos denominados “nortes” se originan en las vertientes del golfo e inciden sobre la planicie costera provocando nubosidad y vientos, estos se presentan entre los meses de noviembre a febrero.

Por su importancia en cuanto a la superficie que ocuparon y la que aun persiste se tienen los siguientes tipos: selva mediana subperenifolia, selva baja caducifolia, bosques caducifolio, palmar de schelis, sabana y selva baja perenifolia.

Según la clasificación FAO/UNESCO existen en la región siete tipos de suelos, en orden de importancia son: Cambisol eutricto, Acrisol ortico, Litosoles, Fluvisol eutricto vertico y Vertisol pelico.

El uso actual del suelo se determina en base en la experiencia de los productores, destacándose los cultivos de caña de azúcar, maíz, piña, arroz y frijol, en relación con las plantaciones perennes se destacan el hule, café y frutas como plátano, mango, cítricos y papaya.

Metodología

Se seleccionaron 41 plantaciones en la región del Papaloapan; estas no presentaban evidencias de daños por plagas, enfermedades o acciones mecánicas; tienen un espaciamiento de 6 x 3 m y cubren edades de 1 a 42 años. En cada plantación se trazaron sitios de 1000 m² y se enumeraron consecutivamente los árboles incluidos en ellas, este trabajo se realizó en dos partes.

En la primera parte, se midieron 2255 árboles en total a los cuales se les midió la siguiente información: grosor de corteza (gc), altura de fuste limpio (altf), altura total (altt), diámetro normal (dpa), proyección de copa norte-sur y este-oeste y a 1562 árboles la producción de látex en kg/árbol/año. Con el objetivo de establecer el grado de asociación entre la producción de látex y las variables dasométricas, para esto se empleo el paquete estadístico SAS (SAS Institute Inc., 1991).

En la segunda parte se necesitaba conocer la producción de biomasa con la finalidad de obtener de manera indirecta la producción de carbono en las plantaciones, para esto se realizó lo siguiente:

Selección de la muestra

La muestra consistió de 82 árboles tipo de *Hevea brasiliensis* del clon IAN-710. La selección los árboles tipo se efectuó cuidadosamente eligiendo aquellos árboles que se encontraran dentro de plantaciones con buenas características, no árboles aislados; también se escogieron árboles que no presentasen una ramificación excesivamente o síntomas de

podrición. Una vez elegidos estos árboles tipo, se procedió a marcar con pintura el tocón y del DAP.

Medición y apeo de los árboles tipo

Antes de cortar los árboles tipo, se procedió a medir el diámetro de tocón a 0.30 cm del suelo y el DAP con cinta diamétrica, cuando el fuste presentaba forma cilíndrica y forcípula, en el caso que no lo fuera, y hubiera necesidad de obtener un promedio del diámetro. También se midió el grosor de corteza con un calibrador para ese fin, en dos lados opuestos del DAP para obtener el promedio del grosor, tanto la medición del diámetro como del grosor de corteza se hicieron con exactitud de un decimal.

Una vez registrada la información de los árboles en pie, se procedió a tumbarlos y a medir su altura total con cinta métrica. Posteriormente, se midieron y seleccionaron trozas de 2 metros de largo hasta al punto de copa.

Cálculo del volumen

Para la cubicación de las selecciones de cada uno de los árboles talados, se utilizó la fórmula de Smalian, excluyendo el grosor de la corteza para obtener el volumen cúbico sin corteza. También se excluyó el volumen del tocón el cual se estandarizo a una altura de 30 cm. la suma del volumen de cada una de estas secciones constituyó el volumen comercial del árbol, ya que para la cubicación se utilizó la altura del fuste y no la altura total del mismo.

Ajuste por análisis de regresión

Los resultados de volumen obtenidos por cada árbol permitieron realizar la aplicación de los modelos de ecuaciones las ecuaciones siguientes:

| | |
|-----------------------------|---|
| $V = a + bD^2H$ | Ecuación de las variables combinadas |
| $V = a D^b H^c$ | Ecuación logarítmica o de Schumacher |
| $V = a + D^2 + cH + dD^2 H$ | Fórmula australiana |
| $V/D^2 H = a/D^2 H + b$ | Ecuación de variables combinadas ponderadas |

La ecuación logarítmica o de Schumacher se encuentra expresada en su forma exponencial. En su logarítmica se expresa así:

$$\text{Log } V = a + b \log D + c \log H$$

Para transformar la constante “a” de la forma logarítmica a la exponencial debe obtenerse el antilogaritmo de esa constante.

Los análisis de regresión se efectuaron utilizando para ello el programa de computo SAS para cálculo estadístico.

Comparación estadística de los modelos

Para selecciones la mejor ecuación de la predicción del volumen, se utilizó los siguientes índices: diferencia agregada, desviación media, coeficiente de determinación y la desviación estándar. El índice más usado para determinar la ecuación que mejor se ajusta es la desviación estándar, pero también puede usarse la diferencia agregada o la desviación media. Lo importante es que estos índices no deben utilizarse solos para apreciar por completo la calidad del ajuste (Caillez, 1980, citado por Ferreira, 1993).

En este estudio las ecuaciones de volumen se compararon siguiendo el orden de importancia de la siguiente manera: desviación estandar, diferencia agregada, desviación media y coeficiente de determinación.

Cuantificación de biomasa

Para la cuantificación de la biomasa se tomó una submuestra de 17 árboles de los 82 apeados. Los mismos fueron seleccionados dentro de cada clase diamétrica por un sorteo, previo al trabajo de campo. Una vez medido el fuste de estos árboles, se procedió a separarlos en sus componentes: Ramas gruesas mayores de 5 cm de diámetro en su base, ramas delgadas menores de 5 cm de diámetro y hojas. Las ramas gruesas fueron medidas con cinta diamétrica y métrica para obtener su diámetro y su largo respectivamente, mientras que las ramas delgadas y las hojas fueron pesadas en una balanza de 100 gr de precisión.

Siguiendo la metodología establecida por Philip, M. (1994), se procedió a obtener una o dos muestras de cada componente (fuste, ramas gruesas y delgadas y hojas) para determinar el contenido de humedad de cada uno de ellos. Cada muestra fue pesada inmediatamente en una balanza de 28 gramos de precisión y guardadas en bolsas plásticas herméticamente cerradas para prevenir pérdidas de humedad. Posteriormente, estas muestras fueron secadas al horno, a una temperatura de 75° C durante el día que se reducía a 55° C durante la noche, por la seguridad del equipo y de las instalaciones del laboratorio. Las muestras fueron pesadas durante el día a intervalos de cada 4 horas con la misma balanza con que se determinó el peso húmedo hasta que el peso de las mismas se estabilizó, lo que tomó entre 4 y 6 días. Obtenido el peso seco de las muestras, se establecieron relaciones entre peso seco y peso húmedo determinándose así el peso seco de cada componente del árbol, se calculó el peso específico, contenido de humedad y por último se sumaron los pesos de cada componente del árbol.

Los modelos de ecuación ensayados para predecir biomasa fueron los siguientes:

$$\begin{array}{ll} \text{Log } P = a + b \log D \text{ ó } P = a * D^b & \text{Ecuación logarítmica o exponencial} \\ P = a + b D^2 H & \text{Ecuación de variedades combinadas} \end{array}$$

Comparación de volúmenes por la prueba de Chi cuadra

Para efectuar esta actividad se procedió a realizar la comparación estadística del volumen de los 55 árboles medidos con el relascopio de Bitterlich y su correspondiente volumen

obtenido de la medición de esos mismos árboles talados, esto con el propósito de poder determinar la exactitud de este instrumento en la medición de árboles en pie.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos se presentan siguiendo el orden en que fueron procesados los datos obtenidos.

Primera parte: Producción de látex

Con el paquete estadístico SAS y utilizando el programa proc glm y los procedimientos de selección de variables se obtuvieron los resultados con el programa SAS los siguientes:

| Dependent Variable: PLATEX IAN-710. | | | | | |
|-------------------------------------|----------|-----------------|----------------|-------------|--------|
| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Value | Pr > F |
| Model | 7 | 77862.25403239 | 11123.17914748 | 30.07 | 0.0001 |
| Error | 1555 | 575299.53666679 | 369.96754770 | | |
| Corrected Total | 1562 | 79031.79069917 | | | |
| R-Square | | C.V. | Root MSE | PLATEX Mean | |
| | 0.985211 | 172.2875 | 19.234540 | 11.16420985 | |

Se puede observar en el análisis de varianza que la hipótesis $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_p$ es rechazada con un $\alpha = 0.0001$, es decir, se rechaza la hipótesis $H_0: (P < 0.0001)$. También se observa un valor del coeficiente de correlación r^2 de 0.9852, es decir, el 98.52 % de la variación en la producción de látex es explicada por el modelo que incluye las variables independientes: edad (meses), grosor de corteza (m), altura total (m), altura de fuste limpio (m), diámetro normal (m), proyección de copa norte-sur (m) y proyección de copa este-oeste, lo que nos da una gran confianza en el modelo de predicción.

Se tomó el error tipo III el cual nos presenta una suma de cuadrados parcial, la cual se basa en la contribución única de las variables al modelo y se utiliza para la comparación de efectos principales, aun cuando exista una interacción significativa y se obtuvieron los resultados siguientes:

| Source | DF | Type III SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|--------|----|----------------|----------------|---------|-----------|
| EDAD | 1 | 6754.88230437 | 6754.88230437 | 18.26 | 0.0001 * |
| GC | 1 | 226.32130047 | 226.32130047 | 13.61 | 0.0001 * |
| ALTT | 1 | 2474.02696388 | 2474.02696388 | 6.69 | 0.1998 ns |
| ALTF | 1 | 74143.29704914 | 74143.29704914 | 200.40 | 0.0001 * |
| DPA | 1 | 629.72699743 | 629.72699743 | 1.70 | 0.0001 * |
| DCNS | 1 | 28.07538245 | 28.07538245 | 0.08 | 0.7830 ns |
| DCEO | 1 | 1238.60799903 | 1238.60799903 | 3.35 | 0.0675 ns |

ns: no significativa

* Estadísticamente significativa

Si se observa la SC tipo III, solamente las variables: edad, grosor de corteza, altura de fuste limpio y diámetro normal están influyendo en la producción de látex ($P < 0.0001$).

A continuación se muestran los valores de los coeficientes de regresión estimados y solo $\beta_0 = 10.66$, $\beta_1 = -0.0195$, $\beta_2 = -0.0945$, $\beta_3 = 1.4618$ y $\beta_4 = -0.0041$, con sus errores estándar y sus correspondientes pruebas de t, es decir, que la edad, grosor de corteza, altura de fuste y diámetro normal están influyendo en la respuesta a la producción de látex.

| Parameter | T for H0: Estimate | Pr > T Parameter=0 | Std Error of Estimate |
|-----------|-----------------------|-------------------------|--------------------------|
| INTERCEPT | 10.66617017 | 4.81 0.0001 | 2.21537294 |
| EDAD | 0.01905751 | 4.27 0.0001* | 0.00446004 |
| GC | -0.09450418 | -0.78 0.0001* | 0.12082870 |
| ALTT | -0.22444862 | -2.59 0.4298 ns | 0.08679537 |
| ALTF | -.46183435 | -14.16 0.0001 * | 0.10326283 |
| DPA | -0.00417834 | -1.30 0.0001 * | 0.00320265 |
| DCNS | 0.01233966 | 0.28 0.7830 ns | 0.04479423 |
| DCEO | 0.14936024 | 1.83 0.0675 ns | 0.08163001 |

ns: no significativa

* Estadísticamente significativa

Le ecuación de predicción obtenida es la siguiente:

$\text{Plátex}(\text{gr/arbol}) = 10.66 + 0.01905751(\text{edad meses}) - 0.0945418(\text{gc m}) - 1.46183435(\text{altf m}) - 0.0041183435(\text{dpa m})$.

Segunda Parte

Distribución de los árboles tipo por clase diamétrica

La realización del estudio contempla la corta de 5 árboles tipo por clase diamétrica, como puede observarse en la Tabla 1 se encontraron muy pocos árboles arriba de 35 cm de DAP, por lo que el resto de árboles tipo se distribuyó en las clases diamétricas inferiores.

Distribución de los árboles tipo por clase diamétrica

La realización del estudio contempla la corta de 5 árboles tipo por clase diamétrica, sin embargo, como puede observarse en la Cuadro 1 se encontraron muy pocos árboles arriba de 35 cm de DAP, por lo que el resto de árboles tipo se distribuyó en las clases diamétricas inferiores.

Coeficientes e índices obtenidos para ecuaciones de volumen

Los coeficientes obtenidos para cada una de las ecuaciones de predicción del volumen, así como también los índices que permitieron hacer una comparación de los modelos y determinar que ecuación presentó un mayor ajuste, se presentan en el Cuadro 2:

Cuadro 1. Distribución de árboles tipos por clase diamétrica.

| Clase diamétrica | Número de árboles |
|------------------|-------------------|
| 10-14 | 17 |
| 15-19 | 20 |
| 20-24 | 20 |
| 25-29 | 20 |
| 30-34 | 19 |
| 35-39 | 3 |
| 40-45 | 6 |
| TOTAL | 105 |

Las ecuaciones ensayadas presentan una deferencia mínima en los valores obtenidos del índice de desviación estándar, cuyo valor más bajo es el que define la ecuación que mejor se ajusta, Ferreira, O. (1990). En este caso, tanto la ecuación logarítmica como la ecuación australiana, presentan una desviación estándar y un coeficiente de determinación muy similares. Al observar los otros dos índices, se puede notar que la diferencia agregada favorece a la ecuación australiana y la desviación media favorece a la ecuación logarítmica. En este se tomó la decisión de elegir la ecuación logarítmica por que tiene una mejor dispersión de los residuales, principalmente en las clases diamétricas inferiores a los 15 cm de DAP y por ser menos compleja su aplicación.

Determinación del factor de forma

A partir del DAP sin corteza y aplicando la fórmula del cilindro, se obtuvo el volumen aparente del árbol. Luego se relacionó con el volumen real obtenido mediante la cubicación de los 105 árboles tumbados y se obtuvo el factor de forma. Al obtener el valor promedio de los factores de forma de cada clase diamétrica se tiene como resultados un valor medio de 0.66. En la Tabla 3 se presenta el factor de forma obtenido por cada clase diamétrica.

Cuadro 2. Coeficientes e índices de comparación de los modelos matemáticos para la estimación del volumen comercial.

| MODELO | CONSTANTE | D.A. (%) | D.M. (%) | D.E. (M ³) | R ² |
|--|--|----------|----------|------------------------|----------------|
| Ecuación Variables combinadas $V=a+Bd^2 H$ | a= -0.00336 b= 0.00003686 | 0.05 | 10.6 | 0.0405 | 0.96 |
| Ecuación de Schumacher $V= a * D^b * H^c$ | a= 0.02882823 b= 2.24237 c= 0.74475 | 0.81 | 9.4 | 0.0323 | 0.98 |
| Ecuación Australiana $V= a + bD^2+Ch+dD^2 H$ | a= -0.03046 b=0.00017592 c=-0.000087 d=0.00002363 | 0.64 | 28.9 | 0.0323 | 0.98 |
| Ecuación Variables Combinadas Ponderada $V/D^2H = a/ D^2 H+b$ | a= - 0.00413 b= 0.00003657 | 1.2 | 10.7 | 0.0406 | 0.94 |

D.A = Diferencia agragada

D.M.= Desviación media

D.E.= Desviación estándar

 R^2 = Coeficiente de determinación

Cuadro 3. Factores de forma por clase diamétrica.

| CLASE DIAMÉTRICA | NÚMERO DE ÁRBOLES | VOLUMEN REAL (m ³) | VOLUMEN APARENTE (m ³) | FACTOR DE FORMA |
|---------------------|----------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| 10 - 14 | 17 | 0.68751 | 1.02136 | 0.67 |
| 15-19 | 20 | 1.86082 | 2.87669 | 0.65 |
| 20-24 | 20 | 3.30760 | 4.88521 | 0.68 |
| 25-29 | 20 | 5.54326 | 8.44790 | 0.66 |
| 30-34 | 19 | 7.25820 | 10.84431 | 0.67 |
| 35-39 | 3 | 1.84971 | 2.89676 | 0.64 |
| 40-44 | 6 | 4.95499 | 7.75195 | 0.64 |
| TOTAL | 105 | 23.45909 | 38.72418 | Prom.= 0.66 |

Constantes e índices de ecuaciones de biomasa

En la Cuadro 3 se presentan las constantes obtenidas por regresión de las ecuaciones ensayadas; así como también los índices de exactitud que permitieron definir la ecuación que mejor se ajustó en la predicción de la biomasa.

Cuadro 4. Constantes e índices de exactitud obtenidos de las ecuaciones ensayadas.

| MODELO | CONSTANTE | D.A. (%) | D.M. (%) | D.E. (kg) | R^2 |
|---|---------------------------------|-------------|-------------|--------------|-------|
| Ecuación Variables Combinadas $P = a + b D^2 H$ | $a = - 22.78$ $b = 0.027883$ | 0.0015 | 23.28 | 63.401 | 0.959 |
| Ecuación Logarítmica $\log P = a + b \log D$ | $a = - 3.1426$ $b = 2.69273$ | 0.84 | 9.22 | 39.448 | 0.986 |

Como se puede observar en el anterior cuadro la ecuación logarítmica es la que presenta una menor desviación estándar, una menor desviación media y un coeficiente de determinación más alto, por lo que en conjunto se seleccionó como la ecuación de mejor ajuste, a pesar de que la ecuación de variables combinadas presenta un menor diferente agregado.

Contenido de humedad

En la Cuadro 5 se presentan los contenidos de humedad y el peso seco de cada uno de los componentes del árbol, el cual fue obtenido luego de pesar y secar las muestras al horno. Los resultados demuestran que el mayor contenido de humedad se encuentra en las hojas y que el mayor contenido de material seco se presenta en el fuste.

Cuadro 5. Peso húmedo, peso seco y contenido de humedad promedio para las diferentes clases de biomasa extraída de 56 muestras.

| Componente Del árbol | Peso Húmedo (gr) | Peso seco (gr) | Peso seco (%) | Contenido de Humedad (%) |
|----------------------|------------------|----------------|---------------|--------------------------|
| Fuste | 822.138 | 516.092 | 62.8 | 37.2 |
| Ramas gruesas | 269.320 | 159.256 | 59.1 | 40.9 |
| Ramas delgadas | 62.536 | 36.688 | 58.7 | 41.3 |
| Hojas** | 1233.204 | 481.942 | 39.1 | 60.9 |

* En relación al peso húmedo

** Las hojas fueron secadas a temperatura ambiente durante 7 días. No se secaron al horno por alta probabilidad de que se incineraran.

Distribución de cada componente en el árbol

El mayor contenido de biomasa de la especie se encuentra en su fuste, representando un 48.5% del total del árbol, incluyendo sus hojas y 50.4 % sin incluirlas, esto significa que el Clon IAN-710 de *Hevea brasiliensis* es una especie de tronco corto y con abundantes ramas, si se compara con especies de coníferas que reportan de un 80 a 85% de biomasa en su fuste y otras que reportan entre 75 a 80 % de biomasa en este mismo componente del árbol (Russo, 1983). En la cuadro 6 se presentan los resultados obtenidos de cada uno de los componente de los 17 árboles muestreados.

Biomasa expresada en peso seco

En la Cuadro 7 se presenta la biomasa del peso seco por clase diamétrica obtenida de los 17 árboles tumbados y pesados. En la última columna de la tabla se incluye el valor promedio de biomasa por clase diametral.

Cuadro 6. Distribución de biomasa (peso seco) por cada componente de los 17 árboles muestreados del Clon IAN-720 de *Hevea brasiliensis*.

| Biomasa | Fuste | Ramas gruesas | Ramas delgadass | Hojas | Total |
|-------------|----------|---------------|-----------------|-------|----------|
| Peso, en kg | 2,743.45 | 1,841.81 | 854.03 | 15.72 | 5,655.01 |
| Porcentaje | 48.5 | 32.6 | 15.1 | 3.8 | 100 |

Cuadro 7. Biomasa de peso por componente del árbol por clase diamétrica.

| CLASE DAP | No. ARB. | FUSTE (kg) | R. G. (kg) | R. D. (kg) | HOJAS (kg) | TOTAL (kg) | PROM. (kg) |
|--------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 10-14 | 3 | 80.60 | 6.43 | 36.51 | 10.95 | 134.49 | 44.83 |
| 15-19 | 3 | 192.17 | 65.55 | 80.30 | 18.26 | 356.28 | 118.76 |
| 20-24 | 4 | 374.35 | 318.45 | 139.77 | 39.73 | 772.30 | 193.07 |
| 25-29 | 2 | 367.12 | 308.74 | 134.78 | 28.19 | 838.83 | 419.42 |
| 30-34 | 3 | 750.37 | 501.46 | 162.07 | 43.91 | 1457.81 | 485.94 |
| 35-39 | 1 | 412.77 | 266.35 | 127.38 | 39.80 | 846.30 | 846.29 |
| 40-44 | 1 | 566.07 | 474.83 | 173.22 | 34.88 | 1249.00 | 1294.00 |
| total | 17 | 2743.45 | 1841.81 | 854.03 | 215.72 | 5655.01 | 332.65 |

Asumiendo que una plantación forestal comercial de 5 años de edad tiene una densidad promedio de 555 árboles por hectárea de 10-14 cm de diámetro distribuidas dentro de estas clases diamétricas, tendríamos una biomasa expresada en peso seco en kilogramos de 24880.65 (24.88065 toneladas) por hectárea, lo cual representa una buena cantidad de carbono acumulado en la madera de estas plantaciones.

Prueba de Chi cuadrado para determinar exactitud del relascopio de Bitterlich

Los resultados obtenidos por la pruebas de Chi cuadrado determinaron que el relascopio es un aparato de mucha precisión, pues el resultado obtenido no alcanza el 1% de error.

Cuadro 8. Volumen obtenido con el relascopio por clase diamétrica.

| CLASE DIAMÉTRICA | NÚMERO DE ÁRBOLES | VOLUMEN REAL (m ³) | VOLUMEN Relas, (m ³) | (VR/VE-1) ² |
|---------------------|----------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------|
| 10-14 | 11 | 0.46144 | 0.46495 | 0.0000569900 |
| 15-19 | 7 | 0.58009 | 0.57634 | 0.00004233600 |
| 20-24 | 11 | 1.71274 | 1.71170 | 0.00000036916 |
| 25-29 | 9 | 2.66939 | 2.66025 | 0.00001180400 |
| 30-34 | 12 | 4.65658 | 4.65779 | 0.00000006749 |
| 35-39 | 1 | 0.66816 | 0.64380 | 0.00143170000 |
| 40-44 | 4 | 3.26025 | 3.24164 | 0.00003295800 |
| total | 55 | 14.00865 | 13.95647 | 0.00157622400 |

Prueba de Chi cuadrada:

$$E (\%) = \frac{(1.983)^2 * (0.001576224)}{128.804} * 100$$

$$E (\%) = 0.69$$

El valor de Z obtuvo de la tabla t de Student para 105 grados de libertad y para una significación de 5%, tomando en cuenta que para muestras mayores de 30 unidades el valor de t se aproxima al valor de Z.

El valor de Chi cuadrado se obtuvo de la tabla de Chi cuadrado para 104 grados de libertad y una significación de 5%, que es el nivel más utilizado en la investigación forestal.

Predicción de secuestro de carbono

Los métodos para cuantificar el secuestro de carbono buscan medir el C con relación a los árboles. Los métodos dependen de la aplicación de lo que se llama "relaciones alométricas" que es el cálculo de la biomasa a partir del diámetro del árbol a la altura del pecho (1.30 m) o por encima de las raíces en el caso de árboles con raíces superficiales. Para lo cual se tomó el método de Woomer y Palm (1999) para obtener el modelo de predicción de secuestro de carbono para el clon IAN-710 de *Hevea brasiliensis* donde se obtuvieron los resultados siguientes:

$$P = 0.04317 * D^{2.69273}$$

Donde DPA es el diámetro a 1.3 m de altura en cm y P es biomasa en peso seco kg/árbol

Se conoce que el 50% aproximado de la biomasa del árbol es carbono, por lo cual a través de esta ecuación se puede obtener la cantidad de carbono según su DPA. Por lo que el cálculo del secuestro de carbono sería el siguiente:

Secuestro de carbono:

$$P/2 = 0.04317 * D^{2.69273}$$

CONCLUSIONES

De acuerdo a la comparación de los 4 modelos matemáticos para predecir el volumen comercial del clon IAN-710 de *Hevea brasiliensis* Muell Arg. El modelo de la ecuación logarítmica y la ecuación australiana presentaron los mejores ajustes para la predicción del volumen. Sin embargo, se eligió el modelo logarítmico por la mejor distribución de valores residuales y por ser más fácil de aplicar que la ecuación australiana. La ecuación elegida expresada en su forma exponencial es: $V = 0.02882823 * D^{2.24237} H^{0.74475}$

Las ecuaciones fueron ajustadas con la altura del fuste, por lo que esta ecuación funciona para obtener volúmenes comerciales y no totales.

Con base a la relación de volumen real y volumen aparente realizada a partir del diámetro sin corteza, se determinó que el factor de forma para esta especie es de 0.66.

La ecuación que mejor ajuste tuvo para la estimulación de la biomasa fue la ecuación logarítmica con un error estándar de 39.448 y un coeficiente de determinación de 0.99 en comparación con la ecuación de variables combinadas, cuyo error estándar fue de 63.401 y un coeficiente de determinación de 0.96. esta ecuación permite predecir la biomasa de peso seco de fuste, ramas gruesas y delgadas. La ecuación seleccionada expresa en su forma exponencial es: $P = 0.04317 * D^{2.69273}$

La biomasa promedio por árbol expresada en kilogramo de peso seco fue de 332.65 kg; el 485% de esta biomasa se encontró en el fuste, 47.7% en las ramas gruesas y delgadas y el 3.8% en el follaje.

El porcentaje del peso seco encontrado en cada uno de los componentes del árbol fue de 62.8% para el fuste, 59.1 para ramas gruesas y 58.7% para ramas delgadas. Estos datos permiten inferir que las plantaciones de esta especie almacenan una buena cantidad de carbono en su madera.

La prueba de Chi cuadrado demostró que el Relascopio de Bitterlich un aparato que posee buena precisión para la medición de diámetros a diferentes alturas en árboles en pie, en este tipo de bosques.

RECOMENDACIONES

Existe muy pocos estudios sobre el árbol del hule y en general sobre los clones de esta especie en México, por lo tanto es importante continuar realizando estudios sobre esta especie, que permitan conocer sus características intrínsecas y extrínsecas.

Las formulas de predicción de producción de látex, volumen y de biomasa fueron elaboradas para la región del papaloapam del Estado de Oaxaca, particularmente para los Municipios huleros del Estado de Oaxaca, cualquier uso que se le dé fuera de esta región podría representar sesgos en la información obtenida.

El Relascopio de Bitterlich es un instrumento de comprobada precisión, por lo que se recomienda para la medición de diámetros a diferentes alturas de árboles en pie que permitan la obtención de factores de forma o tablas de volumen, siempre y cuando el tipo de bosques lo permita.

LITERATURA CITADA

Aguilar, R. M. 1981. **Armonización de crecimiento para determinar la calidad de estimación.** pp. 169-183.

- Arteaga M., B. 1982. **Evaluación de la calidad de estación con base a características fisiográficas.** In: Resumen de Seminario de Investigación. Centro de Genética. Colegio de Postgraduados. Chapingo México.
- Ferreira, O. 1993. **Tablas preliminares de volumen general y relaciones dasométricas para cuatro especies de *Eucalyptus*. Proyecto Conservación y Mejoramiento de los recursos forestales de Honduras.** Serie miscelánea N. 45-27-93. 41 p.
- Philip, M. 1994. **Mesuring trees and Forests.** 2a. Edición. CAB International Wallingford, Oxon, UK. 310 p.
- Russo, R. 1983. **Mediciones de biomasa en sistemas agroforestales. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza- CATIE.** Turrialba, Costa Rica.
- Woomer, P. L. y Palm, C.A. 1999. **An approach to estimating system carbon stocks in tropical forests and associated land uses.** Commonwealth Forestry Review (In press).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Mexicano del Hule A. C. y Fondo Nacional de Empresas en Solidaridad (FONAES) por el apoyo económico y logístico otorgado para la realización de esta investigación.

Rosa Martínez Ruiz

Doctora en Ciencias en Biotecnología Forestal por el Colegio de Postgraduados. Maestra en Ciencias en Ciencias Forestales por la Universidad Autónoma Chapingo. Ingeniera Agrícola especialista en Agroecosistemas por la Universidad Nacional Autónoma de México. Profesora Investigadora en el Programa Forestal de la Universidad Autónoma Indígena de México.

Gustavo Enrique Rojo Martínez

Doctor en Ciencias Forestales por el Colegio de Postgraduados. Maestro en Ciencias Forestales por la Universidad Autónoma Chapingo. Ingeniero Agrícola especialista en Agroecosistemas por la Universidad Nacional Autónoma de México. Profesor Investigador en el Programa Forestal de la Universidad Autónoma Indígena de México. **Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI), CONACYT – México.**

Jesús Jasso Mata

Doctor en Ciencias Forestales por la Universidad de Yale. Maestro en Ciencias Forestales por la Universidad de Yale. Ingeniero Agrónomo especialista en Bosques por la Universidad Autónoma Chapingo. Profesor Investigador del Programa Forestal del Colegio de Postgraduados. **Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI), CONACYT – México.**