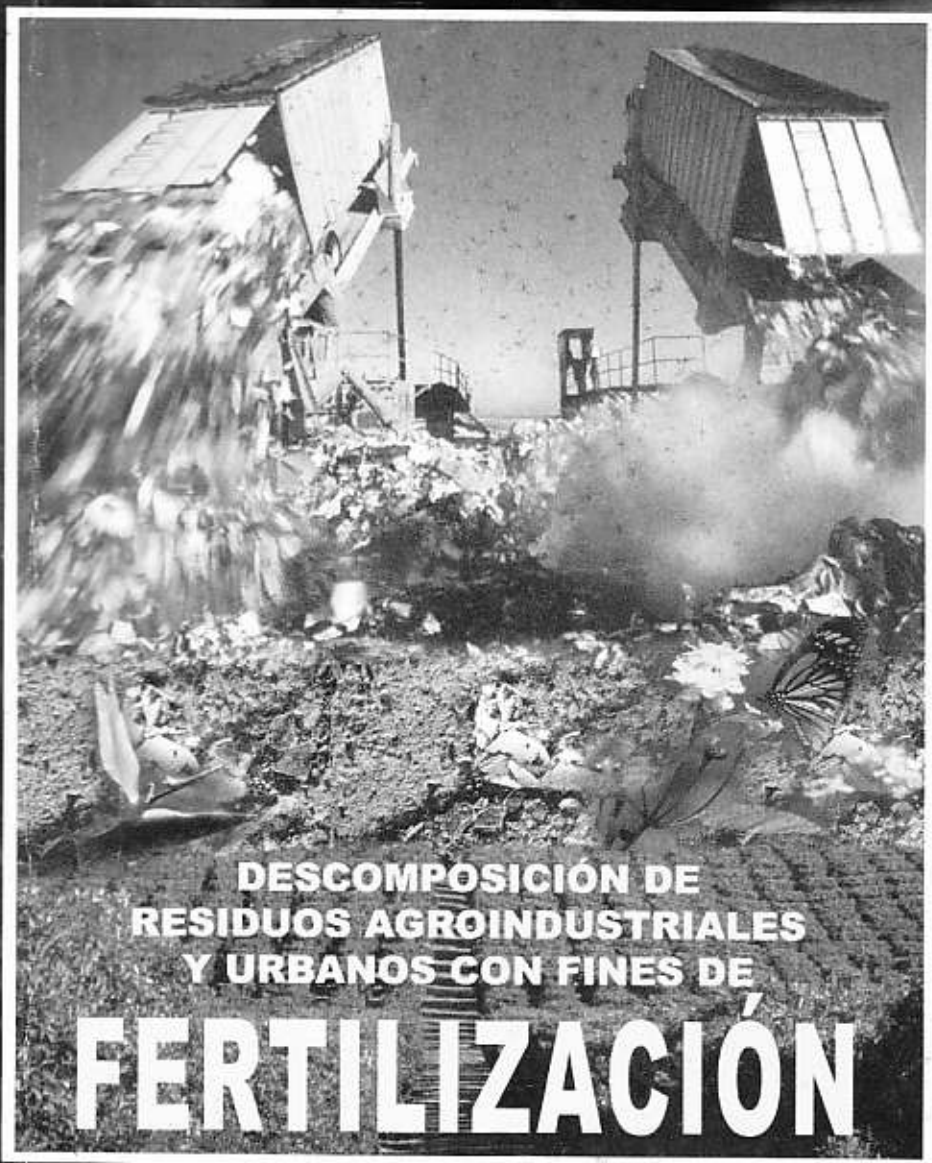


# tiikalia

VOLUMEN XXIV No. 2 2006



DESCOMPOSICIÓN DE  
RESIDUOS AGROINDUSTRIALES  
Y URBANOS CON FINES DE  
**FERTILIZACIÓN**

TIKALIA, órgano de divulgación con aportes científico-tecnológicos en sistemas de producción agrícola y recursos naturales renovables, en este número contiene artículos elaborados por profesores e investigadores de la Facultad de Agronomía y por egresados de la misma.

Los artículos incluidos en este número de TIKALIA son los siguientes:

**Distribución del volumen por producto de *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* y *Tectona grandis* L. f. en plantaciones forestales de 5 y 6 años, establecidas a través del Programa de Incentivos Forestales —PINFOR—, en el Depto. de Izabal.**

África Ixmucané Flores C., Pedro Peláez, José Mario Saravia y Edwin Cano.

**Descomposición de residuos agroindustriales y urbanos con fines de fertilización.**

Eddi Alejandro Vanegas Chacón.

**Determinación fitoquímica y de actividad antifúngica de cultivares de *Solanum americanum* Miller y caracterización de preparación para la industria fitofarmacéutica.**

Armando Cáceres, Vicente Martínez, Ana Margarita Paz, Mario Véliz, Amarillis Saravia, Isabel Cristina Gaitán, Sully Margot Cruz, Gaudy Haydee Ortiz, Claudia Mariela Teleguano, Miguel Ángel Chigüichón.

**Biología y control del coyolillo.**

Ramiro Arnoldo López Pineda y Manuel de J. Martínez Ovalle.

**Origen, establecimiento y propagación de las plantas indeseables.**

Manuel de J. Martínez Ovalle.



# tikalía

---

## **APORTES CIENTÍFICO-TECNOLÓGICOS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA Y RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

La Revista Tikalía es el órgano oficial de divulgación de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Su propósito es contribuir al desarrollo de las Ciencias Agrícolas mediante la publicación de artículos científicos y técnicos que reflejan los resultados de las investigaciones que realizan profesores y estudiantes de la Facultad; así como la publicación de artículos teóricos elaborados por científicos y técnicos de otras universidades e instituciones de investigación agrícola que se adecúen a las necesidades del desarrollo académico de la Facultad.

Los autores son responsables del contenido de sus artículos.



Órgano de divulgación de la Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Vol. XXIV, No. 2



Guatemala  
2006

**Facultad de Agronomía**  
**Universidad de San Carlos de Guatemala**

**Junta Directiva**

- Decano: Dr. Ariel Ortiz López  
Secretario: Ing. Agr. Pedro Peláez  
Vocal I: Ing. Agr. Alfredo Itzep Manuel  
Vocal II: Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes S.  
Vocal III: Ing. Agr. Danilo Ernesto Dardón Ávila  
Vocal IV: MEPU: Elmer Antonio Álvarez Castillo  
Vocal V: PMP: Miriam Eugenia Espinoza Padilla

**Comité Editorial**

- Ing. Agr. Juan Herrera Ardón  
Periodista: Dennis Escobar Galicia

Revista  **tikal**

Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Guatemala  
Teléfono: (502) 2476-9770  
Fax: (502) 2476-9770

Correo electrónico: [comited.agro@usac.edu.gt](mailto:comited.agro@usac.edu.gt)

## PRESENTACIÓN

El presente número de TIKALIA, revista especializada en Sistemas de Producción Agrícola y Recursos Naturales Renovables, contiene los siguientes aportes científico-tecnológicos:

**"Distribución del volumen por producto de *Pinus caribaea* Morelet var. *Hondurensis* y *Tectona grandis* L.f. en plantaciones forestales de 5 y 6 años, establecidas a través del Programa de Incentivos Forestales (PINFOR), en el Depto. de Izabal",** de África Ixmucané Flores, Pedro Peláez, José Mario Saravia y Edwin Cano. Con esta tesis la autora obtuvo el título de Ingeniera Agrónoma en Recursos Naturales Renovables. Se recomienda realizar un estudio similar al presente en un lapso de 5 a 10 años en plantaciones de mayor tamaño para completar la distribución diamétrica de las tablas de volumen elaboradas para plantaciones de Teca y Pino caribe y contar con tablas de volumen para todas las clases diamétricas en las que se pueda obtener productos maderables comerciales.

**"Descomposición de residuos agroindustriales y urbanos con fines de fertilización",** de Eddi Alejandro Vanegas Chacón. Este artículo se elaboró en base a la tesis doctoral con la que el autor obtuvo el grado de Dr. En Nutrición Vegetal, en Brasil. En el estudio diferentes tipos de residuos *in natura* (harinas y tortas) y en la forma de descompuestos (residuo domiciliario y lodo residual) fueron caracterizados químicamente y bioquímicamente, siendo evaluados respecto a su descomposición, cuando incorporados a muestras de suelos del horizonte B de un Oxisol (Latossolo Vermelho-Amarelo) sin corrección de acidez en condiciones de ambiente controlado.

**"Determinación fotoquímica y de actividad antifúngica de cultivos de *Solanum americanum* Millar y caracterización de preparaciones para la industria fitofarmacéutica"**, de Armando Cáceres, Vicente Martínez, Ana María Paz, Mario Véliz, Amarilis Saravia, Isabel

Gaitán, Sully Cruz, Gaudy H. Ortiz, Claudia Teleguario y Miguel Angel Chigüichón. Este estudio fue realizado por profesores investigadores de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia y de la Facultad de Agronomía, ambas de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Se concluyó, entre otras cosas, que de acuerdo a los resultados del porcentaje de germinación y rendimiento, así como de la actividad antifúngica contra hongos miceliares y levaduriformes, las mejores muestras son la colecta 1 procedente de Nueva Santa Rosa, Santa Rosa y la colecta 4 de El Jicaro, El Progreso, las que presentaron mejores resultados.

**“Biología y control del coyolillo”,** de Ramiro Arnoldo López Pineda y Manuel de J. Martínez Ovalle. En este artículo se incluyen resultados de trabajos experimentales desarrollados en Colombia, entre 1968 y 1982, por investigadores de las estaciones experimentales del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y el Depto. Técnico de Monsanto Colombia.

**“Origen, establecimiento y propagación de las plantas indeseables”,** de Manuel de J. Martínez Ovalle. Se concluye que las plantas que verdaderamente se establecen como indeseables o “malas hierbas” presentan características que permiten designarlas como dañinas o perjudiciales. Son plantas que presentan, en general, elevada capacidad de competencia y atributos específicos que aseguran la perpetuación de la especie, tal como la dormancia de la semilla, germinación dispereja, y, algunas de ellas, de hábito perenne, multiplicándose de distinta manera, tal el caso del *Cyperus rotundus*.

## CONTENIDO

- 7 Distribución del volumen por producto de *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* y *Tectona grandis* L. f. en plantaciones forestales de 5 y 6 años, establecidas a través del Programa de Incentivos Forestales —PINEFOR—, en el Depto. de Izabal.

*África Ymuené Flores C., Pedro Peláez, José Mario Scurvia, Edwin Cano.*

---

- 37 Descomposición de residuos agroindustriales y urbanos con fines de fertilización.

*Felí Alejandro Vanegas Chacón.*

---

- 55 Determinación fotoquímica y de actividad antifúngica de cultivares de *Solanum americanum* Millar y caracterización de preparación para la industria fitofarmacéutica.

*Armando Cáceres, Vicente Martínez, Ana Margarita Paz, Mario Veliz, Amurillis Scurvia, Isabel Cristina Gaitán, Sally Margot Cruz, Gaudy Haydee Ortiz, Claudia Mariela Teleguano, Miguel Angel Chigüichón.*

---

- 75 Biología y control del coyolillo.

*Ramiro Arnaldo López Pineda, Manuel de J. Martínez Ovalle.*

---

- 89 Origen, establecimiento y propagación de las plantas indeseables.

*Manuel de Jesús Martínez Ovalle.*

**DISTRIBUCIÓN DEL VOLUMEN POR  
PRODUCTO DE *Pinus caribaea* Morelet var.  
hondurensis y *Tectona grandis* L. f.  
EN PLANTACIONES FORESTALES  
DE 5 y 6 AÑOS, ESTABLECIDAS A TRAVÉS  
DEL PROGRAMA DE INCENTIVOS  
FORESTALES -PINFOR-,  
EN EL DEPTO. DE IZABAL**

África Ixmucané Flores C.  
Pedro Peláez  
José Mario Saravia  
Edwin Cano



**Resumen**

El PINFOR es un instrumento de la Política Forestal Nacional de largo plazo, con una duración de 20 años, promovida por el Instituto Nacional de Bosques -INAB-. Su propósito es impulsar el fomento de la producción forestal sostenible en el país, mediante el estímulo a la inversión en las actividades de forestación, reforestación y manejo de bosques naturales. En

el PINFOR de la subregión de Izabal se encuentran plantaciones forestales de *Pinus caribaea* y *Tectona grandis*, las cuales están en las condiciones adecuadas para la aplicación de tratamientos silviculturales, específicamente raleos, debido a la edad de las mismas (edades de 5 y 6 años). Con el fin de poder obtener información para calcular el volumen comercial de los diferentes productos que se pueden obtener de dichas plantaciones, se realizó la presente investigación, en la cual se determinó la distribución del volumen por producto de *Pinus caribaea* y *Tectona grandis*, en plantaciones de 5 y 6 años, establecidas mediante PINFOR, en Izabal. En el estudio, mediante técnicas de regresión y análisis estadísticos, se seleccionaron modelos matemáticos para estimar la distribución del volumen por producto y el volumen total en árboles individuales de *Pinus caribaea* y *Tectona grandis*. A partir de los modelos matemáticos seleccionados se elaboraron Tablas de Volumen por producto y para volumen total, las cuales son aplicables para el departamento de Izabal.

**Palabra clave:** *Pinus caribaea*, *Tectona grandis*, distribución del volumen por producto, regresión lineal múltiple, tablas de volumen.

## Introducción

La aplicación de raleos comerciales en diferentes condiciones de desarrollo de las plantaciones, implica la obtención de diversos productos. Sin embargo, en la actualidad, en Guatemala aún es escasa la información sobre la cantidad y tipo de producto a obtener derivado de la aplicación de este tratamiento silvicultural. Lo anterior conlleva a sobreestimar o subestimar la proporción de productos a obtener, al momento de planificar y ejecutar las

actividades silvícolas. También implica una limitante dentro del mercado forestal, ya que no se puede cuantificar la oferta potencial que podrían proporcionar las plantaciones establecidas en el país, principalmente en el PINFOR, el cual es el programa que incentiva la actividad forestal nacional. Por esta causa y debido a la importancia que representa el sector forestal para el país, es importante generar información de volumen por productos que permita estimar adecuadamente la distribución de productos resultantes de la aplicación de raleos.

Para poder obtener la información se realizó una recolección de datos volumétricos en plantaciones de 5 y 6 años de edad, de *Pinus caribaea* y *Tectona grandis* establecidas mediante PINFOR en el departamento de Izabal. A estos datos se les aplicó un análisis de regresión lineal múltiple y diferentes análisis estadísticos, para poder seleccionar los modelos matemáticos que mejor representaran el comportamiento real de los datos; posteriormente se elaboraron las tablas de volumen por producto y por volumen total de Pino caribe y Teca.

Philip (1983), mencionado por Barrena, *et al.*, indica que la utilización del análisis de regresión en la construcción de ecuaciones de volumen presenta las siguientes ventajas:

- Proporciona un estimado de la precisión de la predicción o estimación.
- Se cuenta con un método objetivo de elección entre diferentes modelos matemáticos.
- Se necesitan pocos datos para alcanzar la precisión dada.

### UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La investigación se realizó en el departamento de Izabal, el cual se localiza en el extremo Nor-oriental de la república de Guatemala. (Figura 1) Las condiciones climáticas en el área son variadas debido a su ubicación geográfica, siendo la precipitación media anual de 3,000 mm, las lluvias son generalizadas y se distribuyen durante ocho meses al año aproximadamente.

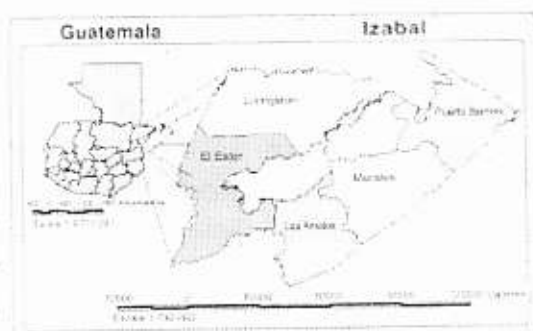


**Figura 1** Ubicación del área de estudio, departamento de Izabal, Guatemala

El área de estudio se encuentra ubicada en las provincias fisiográficas Tierras Altas Sedimentarias, Tierras Altas Cristalinas, y Depresión de Izabal.

La fase de campo de la investigación se realizó en plantaciones forestales, establecidas a través del Programa de Incentivos Forestales –PINFOR–, donde se cuenta con las especies forestales *Pinus caribaea* y *Tectona grandis*, y que se encontraban en fases de mantenimiento IV y V.

Geográficamente las áreas de muestreo se localizan en las coordenadas presentadas e ilustradas en la Figura 9.

### SELECCIÓN DE RODALES Y ÁRBOLES MUESTRA

Para la selección de los rodales en cada uno de los proyectos se utilizaron los siguientes criterios:

Rodales puros, coetáneos, que presenten una "densidad normal" (término cualitativo utilizado para definir la ocupación completa de un sitio, por una masa forestal).

Para captar de manera confiable la información, se consideraron ciertas características para seleccionar los árboles muestras, tales como: fustes rectos, y que no presentaran daños físicos.

Se obtuvo un total de 54 árboles muestra para *Pinus caribaea* y 43 para *Tectona grandis*, distribuidos en las 7 clases diamétricas prescritas, como se puede observar en el Cuadro 1 y 2.

**Cuadro.1.** Características dasométricas de los árboles muestra de *Pinus caribaea*.

| Rango        | Árboles Muestra | DAP promedio (cm) | Altura promedio (metros) |
|--------------|-----------------|-------------------|--------------------------|
| 5 - 6.99     | 8               | 6.026             | 4.39                     |
| 7 - 8.99     | 8               | 7.94              | 5.83                     |
| 9 - 10.99    | 8               | 9.89              | 6.65                     |
| 11 - 12.99   | 8               | 11.78             | 7.26                     |
| 13 - 14.99   | 8               | 13.70             | 8.72                     |
| 15 - 16.99   | 8               | 16.10             | 8.97                     |
| 17 - 20.99   | 6               | 18.52             | 10.20                    |
| <b>Total</b> | <b>54</b>       |                   |                          |

**Cuadro.2.** Características dasométricas de los árboles muestra de *Tectona grandis*.

| Rango C.D.   | Árboles Muestra | DAP promedio (cm) | Altura promedio (metros) |
|--------------|-----------------|-------------------|--------------------------|
| 5 - 6.99     | 5               | 6.14              | 6.75                     |
| 7 - 8.99     | 7               | 8.03              | 9.43                     |
| 9 - 10.99    | 8               | 9.73              | 11.51                    |
| 11 - 12.99   | 5               | 11.98             | 12.65                    |
| 13 - 14.99   | 5               | 13.80             | 13.91                    |
| 15 - 16.99   | 7               | 15.89             | 13.93                    |
| 17 - 20.99   | 6               | 18.72             | 15.36                    |
| <b>Total</b> | <b>43</b>       |                   |                          |

## TIPO DE MUESTREO

Se trabajó con un tipo de muestreo no probabilístico con un esquema de selección intencional o de selección experta. Se seleccionaron personalmente los árboles tipo o muestra, según el criterio del investigador. En el muestreo no probabilístico no es posible conocer ni su precisión ni nivel de confianza, lo que trae como consecuencia que los resultados no puedan ser ampliamente generalizados, sino que únicamente son válidos para el área de trabajo.

## TOMA DE DATOS

Dentro de cada rodal seleccionado se realizaron ciertas mediciones dasométricas y del terreno, a fin de tener conocimiento sobre el estado actual en que se encuentra el rodal.

A cada árbol seleccionado se le hicieron las siguientes mediciones:

- a. Altura total del fuste en metros.
- b. Diámetros a diferentes longitudes del fuste en centímetros: Medición a cada 2 m, a partir de la base, continuando hasta la punta del fuste.
- c. Corteza: para *Pinus caribaea* a cada sección del fuste medida se le tomó una medición del espesor de corteza.
- d. Volumen estéreo de ramas: Para la medición de la leña de ramas por árbol individual, se apiló la leña formando metros estéreos para poder facilitar su cuantificación. Entendiendo como metro estéreo el volumen ocupado por piezas de madera de un metro de largo apiladas sobre un metro de ancho y un metro de alto.

## ANÁLISIS DE LOS DATOS

Para calcular los diferentes volúmenes a partir de la información recolectada, se realizó una división por productos, de la siguiente forma:

- Volumen de trocillo. Se consideró como trocillo, la sección del fuste que por sus dimensiones no permite su procesamiento para la producción de tabla, considerando para *Pinus caribaea* las siguientes dimensiones; un diámetro máximo de 20 cm hasta un mínimo de 8 cm, y para *Tectona grandis*; un diámetro máximo de 20 cm hasta un mínimo de 10 cm, basándose en la demanda actual de este producto por la industria forestal nacional. (Aldana M., 2005).
- Volumen de leña: La punta del fuste, que comprende diámetros menores a 10 cm, se consideró como volumen de leña, también la leña apilada de ramas de la copa.
- Volumen total: Suma de cada volumen parcial (trocillo y leña).

Para calcular los volúmenes de las diferentes secciones medidas del árbol se utilizaron las fórmulas que se presentan en el Cuadro 3.

**Cuadro.3.** Fórmulas utilizadas para determinar el volumen de los diferentes productos a extraer del árbol.

| SECCIONES      | ECUACIONES                         | NOMBRE         |
|----------------|------------------------------------|----------------|
| Tocón          | $V = AB_0 \times L$                | Cilindro       |
| Intermedias    | $V = L/2 \times (AB_1 + AB_2)$     | Smalian        |
| Fuste Terminal | $V = L/3 \times AB_3$              | Cono circular  |
| Leña de ramas  | $V = L \times A \times H \times K$ | Metros cúbicos |

Donde:

V = Volumen en metros cúbicos

AB = Área basal ( $0.7854 \times D^2$ ) en metros cuadrados

L = Longitud de sección en metros

AB<sub>0</sub> = Utiliza el diámetro de la parte superior del tocón en cm

AB<sub>1</sub> = Utiliza el diámetro inferior de la sección (el mayor) en cm

AB<sub>2</sub> = Utiliza el diámetro superior de la sección (el menor) en cm

AB<sub>3</sub> = Utiliza el diámetro medido en la base del cono en cm

K = Coeficiente de apilamiento

H = Altura de leña apilada en metros

A = Ancho de leña apilada en metros

Mediante el paquete estadístico de SAS (Statistical Analysis System) y su método de Stepwise se definieron los modelos matemáticos que representaban los mejores ajustes a los datos reales.

La selección de los modelos se basó por un lado en el análisis de los estimadores: cuadrado medio del error CME, cociente entre varianzas (F) y coeficiente de determinación  $R^2$  y por otro lado, a manera de tener un mejor criterio de selección, se utilizaron los siguientes estimadores: Desviación agregada DA, desviación media DM y el error estándar de estimación expresado en porcentaje Sxy%. A la vez se realizó un análisis de residuales para verificar el ajuste de los modelos.

## Resultados y discusión

### *Pinus caribaea:*

#### Selección de Modelos

La selección del mejor modelo se hizo tomando en cuenta los mejores indicadores estadísticos del análisis de varian-

za proporcionados por el paquete estadístico de SAS. Como se puede observar en el Cuadro 4.

**Cuadro.4.** Modelos matemáticos propuestos por el sistema de SAS, con sus respectivos valores estadísticos, para *Pinus caribaea*.

| Producto            | Modelo                                    | R <sup>2</sup> | CME      | F       | Valor crítico de F |
|---------------------|-------------------------------------------|----------------|----------|---------|--------------------|
| Volumen total CC    | $V = a + bD^c \ln(D)$                     | 0.9586         | 0.000177 | 1205.54 | 0.0001             |
|                     | $V = a + bD^c \ln(D) + cD^d H$            | 0.9614         | 0.000165 | 634.50  | 0.0001             |
| Volumen total SC    | $V = a + bD^c \ln(D)$                     | 0.9460         | 0.000147 | 910.50  | 0.0001             |
| Volumen de trocillo | $V = a + bD^c \ln(H)$                     | 0.9881         | 0.000058 | 1578.76 | 0.0001             |
|                     | $V = a + b(\ln(D))^c (\ln(H))^d + cD^e H$ | 0.9731         | 0.000049 | 922.97  | 0.0001             |
| Volumen de leña     | $V = a + bD^c \ln(D)$                     | 0.7689         | 0.000149 | 172.98  | 0.0001             |

Donde:

CC = con corteza

SC = sin corteza

D = Diámetro a la altura del pecho (DAP), en centímetros.

H = Altura total en metros

$\ln()$  = Logaritmo natural

R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinación cuadrado

CME = Cuadrado medio de error

F = Cociente entre varianzas.

a, b, c = coeficientes de regresión

Según los datos mostrados en el Cuadro 4, se puede observar que todos los modelos muestran una alta significancia y que el valor de R<sup>2</sup> es elevado, más sin embargo todavía se cuenta con 2 modelos para encontrar el volumen total con corteza y el volumen de trocillo, de los cuales se pueden seleccionar los que presenten el mayor R<sup>2</sup>, que en este caso significarían los que están propuestos por un mayor número de coeficientes de regresión, y según Cailleze (1980) se debe tratar de contar con el modelo más

simple posible, o sea, el que tenga el menor número de coeficientes.

En vista de lo anterior, también se debe de tomar en cuenta que no se debe de juzgar la calidad de una regresión solamente por el valor numérico del coeficiente de determinación o correlación múltiple (Cailleux 1980), ya que existen otros valores distintos de R que pueden ser utilizados, y los cuales fueron:

Desviación estándar de la estimación ( $S_{xy}$ ), Desviación agregada o prueba de sesgo (DA), Desviación Media (DM), Error estándar de estimación expresado en porcentaje ( $S_{xy}\%$ ), todos estos indicadores se presentan Cuadro 5.

**Cuadro 5.** Indicadores estadísticos utilizados para seleccionar el modelo matemático definitivo para representar los diferentes volúmenes de productos, en *Pinus caribaea*.

| Producto            | Modelo                                        | $S_{xy}$ | $S_{xy}\%$ | DA       | DM     |
|---------------------|-----------------------------------------------|----------|------------|----------|--------|
| Volumen total CC    | $V = a + b D^2 \ln(D)$                        | 0.013198 | 16.98644   | -0.01558 | 0.2229 |
|                     | $* V = a + b D^2 \ln(D) + c D^2 H$            | 0.012751 | 16.41071   | -0.01544 | 0.2072 |
| Volumen total SC    | $V = a + b D^2 \ln(D)$                        | 0.012013 | 19.33778   | -0.01226 | 0.2510 |
| Volumen de trocillo | $V = a + b D^2 \ln(H)$                        | 0.007528 | 18.49430   | -0.06813 | 0.2582 |
|                     | $* V = a + b (\ln(D))^2 (\ln(H))^2 + c D^2 H$ | 0.006912 | 16.98034   | -0.05115 | 0.2441 |
| Volumen de leña     | $V = a + b D^2 \ln(D)$                        | 0.012117 | 32.75782   | -0.01509 | 0.4228 |

Donde:

CC = con corteza

SC = sin corteza

D = Diámetro a la altura del pecho (DAP), en centímetros

H = Altura total en metros

$\ln()$  = Logaritmo natural

$R^2$  = Coeficiente de determinación cuadrado

CME = Cuadrado medio de error

F = Cociente entre varianzas.

a, b, c = coeficientes de regresión

\* = modelos seleccionados.

Los indicadores estadísticos que se presentan en el Cuadro 5 demuestran que todos los modelos son aceptables ya que muestran valores dentro de los rangos aceptables, en el caso de la Desviación agregada (DA) se encuentran valores de -0.068% a -0.012 % los cuales están muy por debajo del 1% aceptable, mientras que la Desviación Media (DM) la cual indica la variabilidad esperada en los datos oscila entre 0.20% y 0.25%, los cuales son porcentajes muy bajos, ya que puede llegar a alcanzar el 10% y ser aceptable.

### Calidad de ajuste de los modelos seleccionados

Para tablas de volumen de doble entrada Caillez (1980) sugiere dibujar en el mismo gráfico los datos reales y el volumen ajustado contra  $D^2H$  independientemente de cual sea el modelo, para apreciar por completo la calidad del ajuste.

Y para tablas de una entrada sugiere dibujar en el mismo gráfico los datos reales y el volumen ajustado contra el Diámetro.

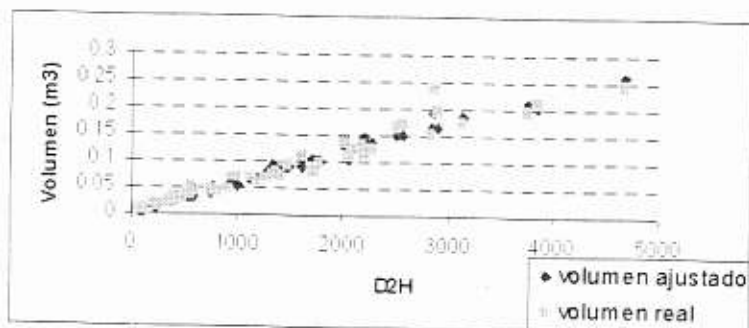


Figura. 2. Gráfico del volumen real y ajustado para el modelo de regresión seleccionado en el volumen total con corteza para *Pinus caribaea*.

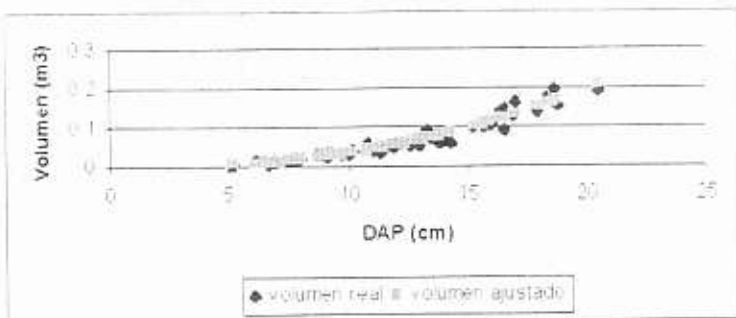


**Figura. 3.** Gráfico del volumen real y el ajustado por el modelo seleccionado para calcular el volumen total sin corteza para *Pinus caribaea*.

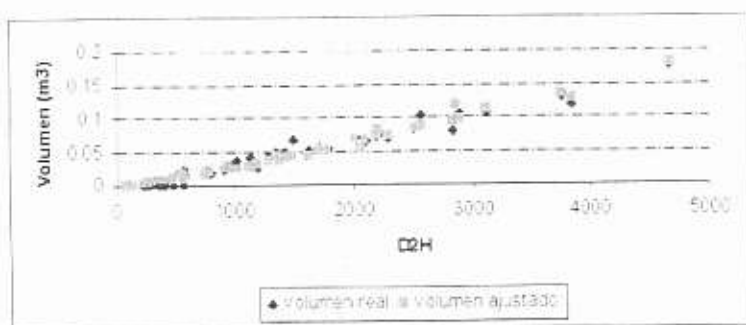


**Figura. 4.** Gráfico del volumen real y ajustado del modelo seleccionado para estimar el volumen de trocilo para *Pinus caribaea*.

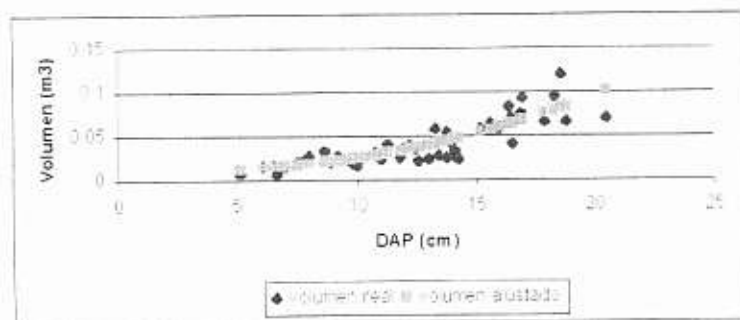


**Figura. 5.** Gráfico del Volumen real y ajustado, del modelo seleccionado para estimar el volumen de leña para *Pinus caribaea*.

Todos los modelos seleccionados presentan un buen ajuste en comparación con los datos reales y esto se puede visualizar según los gráficos de las Figuras de la 2 a la 5.

En las Figuras 3 y 5 se graficó el volumen contra el diámetro debido a que los modelos seleccionados presentan una sola entrada o variable independiente, la cual es el diámetro.

Finalmente se puede resumir que los modelos seleccionados para estimar los diferentes volúmenes por producto son los que se presentan en el Cuadro 6. Las Tablas de volumen resultantes de estos modelos seleccionados se muestran en los Cuadros 10, 11 y 12.

**Cuadro.6.** Modelos matemáticos elegidos para la elaboración de las Tablas de volumen para *Pinus caribaea*.

| Producto            | Modelo Matemático seleccionado                                                          |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Volumen Total CC    | $V = -0.00361482 + (0.00014193 \cdot D^2 \ln(D)) + (0.00001821 \cdot D^2 H)$            |
| Volumen total SC    | $V = -0.00424806 + (0.00016380 \cdot D^2 \ln(D))$                                       |
| Volumen de trocillo | $V = -0.00830764 + (0.00059962 \cdot (\ln(D))^2 (\ln(H))^2) + (0.00000717 \cdot D^2 H)$ |
| Volumen de leña     | $V = 0.00786682 + (0.00007188 \cdot D^2 \ln(D))$                                        |

Donde:

V = Volumen en m<sup>3</sup>      D = Diámetro a la altura del pecho (DAP) en cm.

H = Altura

## ***Tectona grandis***

### **Selección de modelos**

Al igual que para *Pinus caribaea* la selección de los modelos se realizó mediante el paquete estadístico de SAS y su método de Stepwise, por medio del cual se definieron los modelos matemáticos que representaban los mejores ajustes a los datos reales, como se puede observar en el Cuadro 7.

Cuadro. 7.

Modelos matemáticos seleccionados por el paquete estadístico SAS 6.12, con sus respectivos valores estadísticos, para *Tectona grandis*.

| Producto            | Modelo                                                                                      | R <sup>2</sup> | CME        | F      | Valor crítico de F |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|------------|--------|--------------------|
| Volumen total       | $V = a + b D^{1.5568} H^{1.2102}$                                                           | 0.3353         | 0.0006197  | 593.05 | 0.0001             |
|                     | $V = a + b D^2 H$                                                                           | 0.9304         | 0.00066627 | 548.76 | 0.0001             |
|                     | $V = a + b D^3 H + c (\ln(D))^2$                                                            | 0.9359         | 0.00062989 | 291.91 | 0.0001             |
|                     | $V = a + b D \ln(H)$                                                                        | 0.9571         | 0.0009168  | 914.24 | 0.0001             |
|                     | $V = a + b D^2 \ln(H)$                                                                      | 0.9387         | 0.00019140 | 628.08 | 0.0001             |
| Volumen de trocillo | $V = a + b \ln(H) + c D^2 \ln(H)$                                                           | 0.9435         | 0.0001808  | 334.09 | 0.0001             |
|                     | $V = a + b \ln(H) + c D^2 \ln(D) + d D^2 \ln(H)$                                            | 0.9596         | 0.00013270 | 308.69 | 0.0001             |
|                     | $V = a + b \ln(H) + c D^2 \ln(D) + d D H^2 + e D^2 \ln(H)$                                  | 0.9712         | 0.00009697 | 320.66 | 0.0001             |
|                     | $V = a + b \ln(H) + c D^2 \ln(D) + d D H^2 + e D^2 \ln(H) + f \ln(D) \ln(H)$                | 0.9740         | 0.00009982 | 277.74 | 0.0001             |
|                     | $V = a + b D^2 \ln(D) + c D H^2 + d D^2 \ln(H) + e \ln(D) \ln(H)$                           | 0.9728         | 0.00009162 | 339.95 | 0.0001             |
|                     | $V = a + b D^2 \ln(D) + c D H^2 + d D^2 \ln(H) + f \ln(D) \ln(H)$                           | 0.9766         | 0.00008082 | 309.52 | 0.0001             |
|                     | $V = a + b D^2 \ln(D) + c D H^2 + d D^2 \ln(H) + e \ln(D) \ln(H)$                           | 0.9758         | 0.00008157 | 382.97 | 0.0001             |
|                     | $V = a + b D^2 \ln(D) + c D^2 H + d D^2 \ln(H) + e \ln(D) \ln(H) + f (\ln(D))^2 (\ln(H))^2$ | 0.9789         | 0.00007306 | 343.15 | 0.0001             |
|                     | $V = a + b D^2 \ln(D) + c D^2 H + d D^2 \ln(H) + e (\ln(D))^2 (\ln(H))^2$                   | 0.9784         | 0.00007267 | 431.04 | 0.0001             |
|                     | $V = a + b D^2 \ln(D) + c D H + d D^2 H + e D^2 \ln(H) + f (\ln(D))^2 (\ln(H))^2$           | 0.9802         | 0.00006852 | 366.37 | 0.0001             |
| Volumen de leña     | $V = a + b D \ln(D)$                                                                        | 0.8996         | 0.00256073 | 367.52 | 0.0001             |
|                     | $V = a + b D H$                                                                             | 0.7950         | 0.00043485 | 159.01 | 0.0001             |

Para estimar los diferentes volúmenes en *Tectona grandis* se cuenta con varios modelos propuestos por SAS, por lo que desde esta etapa se reducirá el número de modelos en base a criterios dados por los parámetros estadísticos de  $R^2$  y el valor crítico de F, en el Cuadro 7 se definen los modelos seleccionados con un asterisco (\*) y resaltados con negrilla. Estos mismos corresponden a los que presentan el valor de  $R^2$  más elevado, menor número de coeficientes y con una significancia relevante.

Los valores de F de todos los modelos seleccionados (ver Cuadro 7), demuestran que la probabilidad es menor de 1 en mil de que la relación entre la variable dependiente (volumen) y las predictorias (diámetro y altura) se deba solamente a factores aleatorios fuera del modelo de regresión.

**Cuadro. 8.** Indicadores estadísticos utilizados para seleccionar el modelo matemático definitivo para representar los diferentes volúmenes de productos, en *Tectona grandis*.

| Producto            | Modelo                                                                    | Sxy    | Sxy%    | DA       | DM     |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------|---------|----------|--------|
| Volumen total       | $V = a + b D^{1.5588} H^{1.2102}$                                         | 0.0246 | 20.3785 | -0.00106 | 0.3297 |
|                     | $V = a + b D \ln(H)$                                                      | 0.0259 | 21.4525 | 0.72954  | 0.3201 |
| Volumen de trocillo | $V = a + b D^2 \ln(D) + c D H^2 + d D^2 \ln(H) + e \ln(D) \ln(H)$         | 0.0091 | 18.5217 | -0.01051 | 0.3337 |
|                     | $V = a + b D^2 \ln(D) + c D H^2 + d D^2 \ln(H) + e \ln(D) \ln(H)$         | 0.0086 | 17.4771 | 0.01873  | 0.3266 |
|                     | $V = a + b D^2 \ln(D) + c D^2 H + d D^2 \ln(H) + e (\ln(D))^2 (\ln(H))^2$ | 0.0081 | 16.4960 | -0.00669 | 0.2944 |
| Volumen de leña     | $V = a + b DH$                                                            | 0.0206 | 28.7995 | -0.00057 | 0.4583 |

De los modelos evaluados para trocillo se puede definir que el más indicado es  $V = a + b D^2 \ln(D) + c D^2 H + d D^2 \ln(H) + e (\ln(D))^2 (\ln(H))^2$ , ya que presenta los niveles más elevados de  $R^2$  con un 0.9784 y el valor de F más significativo, esto en el análisis de varianza del modelo (Cuadro 7). Ahora con el análisis de los estadísticos como el error estándar de la estimación (Sxy), Desviación agregada (DA), Desviación Media (DM) y Desviación estándar como porcentaje del volumen medio (Sxy%), se puede observar que este modelo presenta los menores valores estadísticos para estos parámetros, lo cual demuestra que es el modelo mejor ajustado. (ver Cuadro 8).

Para el volumen total se tiene que el primer modelo:  $V = a + b D^{1.5588} H^{1.2103}$  muestra los menores valores en los indicadores estadísticos de Sxy, Sxy%, DA, y DM, (ver Cuadro 8) lo que indicaría que es el mejor ajustado, sin embargo para el análisis de varianza del modelo de regresión contamos con que el otro modelo:  $\sqrt{V} = a + b D \ln(H)$  contiene el mejores resultados, con un  $R^2$  mayor. Por lo que la decisión final para definir el modelo que mejor represente el volumen total será evaluada según el comportamiento de los dos modelos descritos anteriormente en el análisis de residuales y en la graficación de los volúmenes ajustados y los reales.

Con respecto al modelo seleccionado para estimar el volumen de trocillo, se puede observar una tendencia al inicio de la gráfica (Figura 6), esto se puede deber a que este modelo no se acopla para las clases diámétricas menores que se tomaron en cuenta en este estudio, ya que el % de trocillo en las mismas no existía, más sin embargo el modelo devuelve un valor.

Esto se puede comprobar en el gráfico de volúmenes reales y estimados.

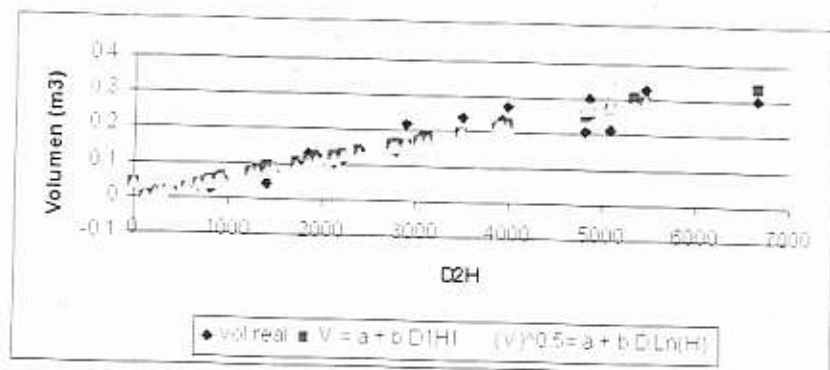


Figura. 6. Gráfica del volumen real y volúmenes ajustados de los modelos seleccionados para estimar el volumen total en *Tectona grandis*.

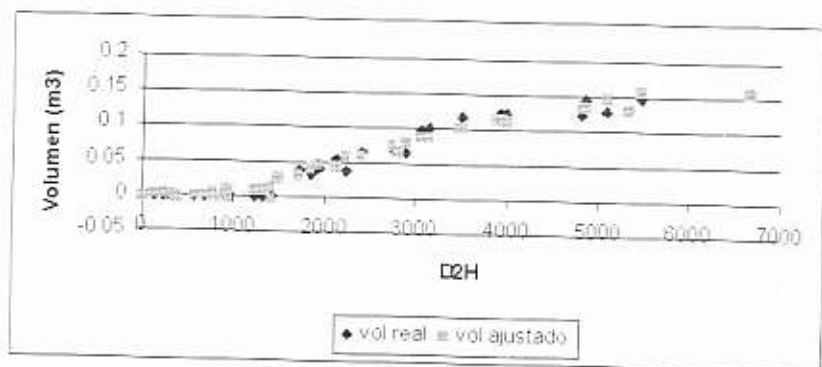


Figura. 7. Gráfica del volumen real y ajustado del modelo seleccionado para estimar el volumen de trocillo en *Tectona grandis*.

En la Figura 7 se puede visualizar que existen algunos valores negativos y positivos de volumen para los modelos que estiman el volumen de trocillo, en las clases diamétricas menores, por esto se recomendaría que el modelo se utilice sólo para las clases diamétricas donde se empieza a encontrar trocillo, según los

datos reales tomados, ya que el modelo se ajusta muy bien para los datos reales donde se encuentra trocillo.

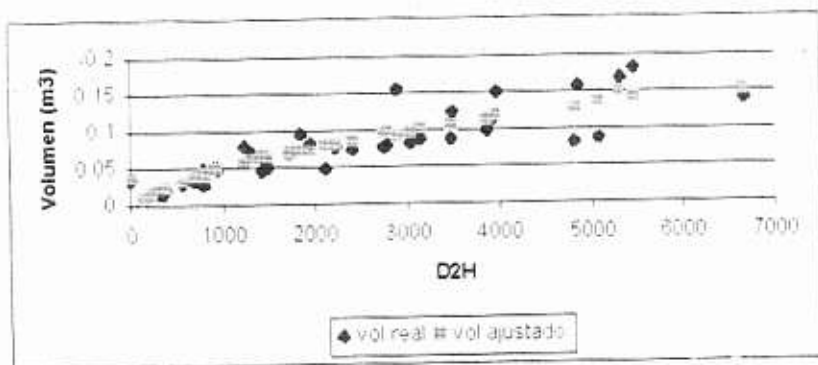


**Figura. 8.** Gráfica del volumen real y ajustado del modelo seleccionado para estimar el volumen de leña en *Tectona grandis*.

**Cuadro. 9.** Modelos matemáticos seleccionados para elaborar las Tablas de Volumen para plantaciones de *Tectona grandis* en Izabal.

| Producto         | Modelo Matemático seleccionado                                                                                                                                                  |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Volumen Total CC | $V = -0.01185926 + (0.00011417 \cdot (D^{1.5988}) \cdot (H^{2.123}))$ Volu-                                                                                                     |
| men de trocillo  | $V = 0.02029998 + (-0.00323026 \cdot D^2 \cdot \ln(D)) + (-0.000231 \cdot D^2 \cdot H) + (0.00576549 \cdot D^2 \cdot \ln(H)) + (-0.01287974 \cdot (\ln(D))^2 \cdot (\ln(H))^2)$ |
| Volumen de leña  | $V = -0.00547873 + (0.00049907 \cdot D \cdot H)$                                                                                                                                |

Donde:

V = Volumen m<sup>3</sup>

D = Diámetro a la altura del pecho (DAP) en cm

H = Altura en metros

Las tablas resultantes de los modelos seleccionados para estimar el volumen por producto y volumen total se presentan en los Cuadros 13 y 14.

## Conclusiones y recomendaciones

- A. El volumen real total para *Pinus caribaea* presenta una distribución exponencial con respecto al diámetro del árbol, y el porcentaje de trocillo en esta especie muestra presencia a partir de diámetros = 9 centímetros. Con respecto a *Tectona grandis* el volumen real total presenta la misma tendencia que en *Pinus caribaea* y el porcentaje de trocillo muestra presencia a partir de diámetros = 11 centímetros. Para el producto leña en Pino y Teca se establece que su distribución por volumen corresponde al 100% en diámetros menores a 11 y 9 centímetros respectivamente.
- B. Con base en los indicadores estadísticos, Error estándar de estimación, Diferencia Agregada, Desviación Media, Coeficiente de Determinación, prueba de F, análisis de residuales y comparación de valores reales con los estimados, se puede concluir que los modelos seleccionados y las tablas de volumen generadas son confiables y pueden ser utilizados satisfactoriamente en las áreas donde fueron estimados y bajo condiciones ecológicas y silvícolas similares.
- C. Se recomienda la elaboración de Tablas de volumen y de productos forestales tomando como base la calidad del fuste, es decir, tomando en cuenta características fisiológicas del árbol, como bifurcaciones o eje torcido, ya que al momento de realizar raleos los individuos mal formados son los de mayor preferencia para ser eliminados. Y debido a que en este estu-

dio sólo se tomaron en cuenta árboles con buenas características fisiológicas, el uso de las tablas elaboradas en este estudio puede sobreestimar el volumen al momento de la planificación de los raleos en plantaciones que contengan árboles defectuosos o mal formados.

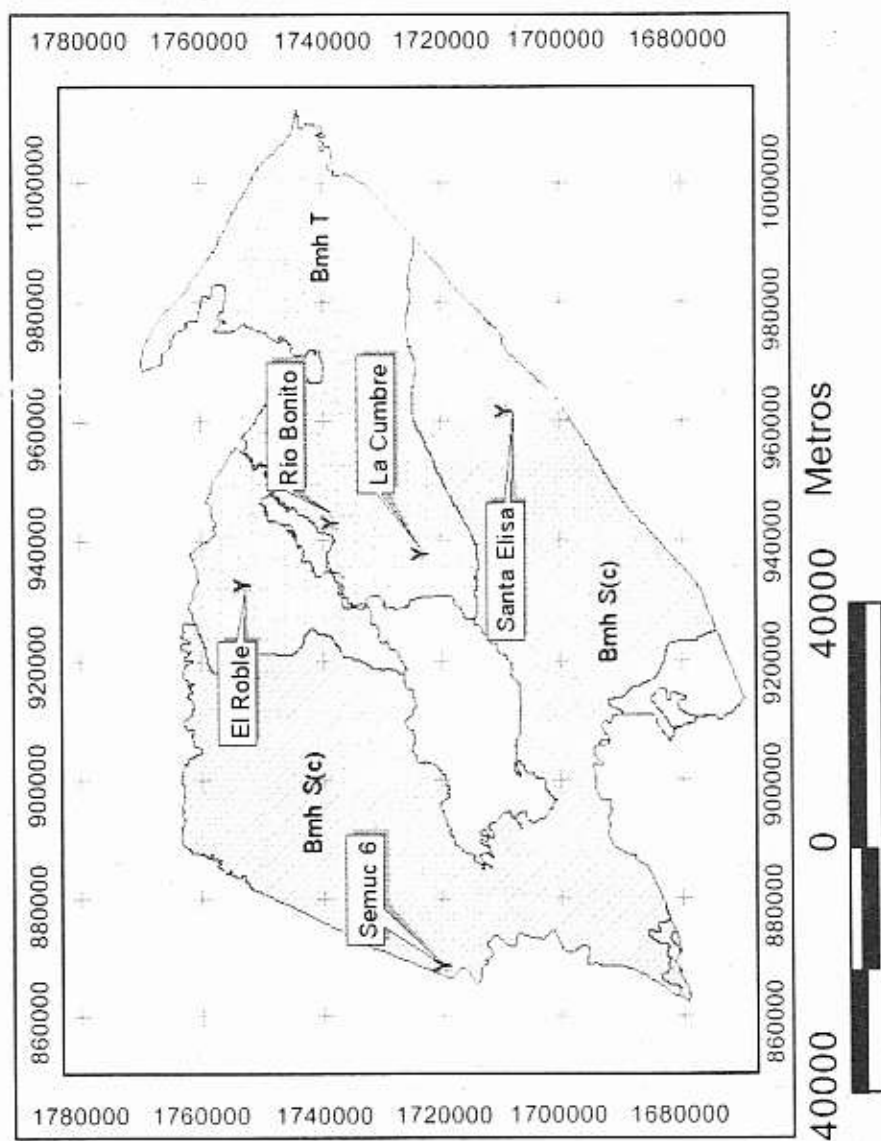
- D. Realizar un estudio similar al presente en un lapso de 5 a 10 años en plantaciones de mayor tamaño para completar la distribución diamétrica de las tablas de volumen elaboradas para plantaciones de Teca y Pino caribe y contar con tablas de volumen para todas las clases diamétricas en las que se pueda obtener productos maderables comerciales.

### Agradecimientos

Ing. Edwin Cano por su valiosa colaboración en la realización logística del presente estudio; Ing. Marco Tulio Aceituno por su apoyo en la utilización del paquete estadístico SAS; Ing. Pedro Peláez por su valiosa asesoría en la realización de esta investigación, Ingenieros Walter Chávez y José A. Mármol, por su apoyo en la fase de campo de la investigación. También a las empresas Interforest, S.A, Inmobiliaria del Comercio, Agropecuaria el Cerrón, por su colaboración, atención y permitir las cortas respectivas.

## Referencias bibliográficas

1. Aldana, M. 2005. Diagnóstico en industrias de aserrijo con relación al procesamiento de diámetros menores de madera proveniente de plantaciones establecidas bajo el PINFOR, en la región nororiente de Guatemala. Tesis. Inga. Agr. Guatemala, USAC. 60 p. (sin publicar)
2. Barrena, V; Dance, J; Sáenz, D. 1986. Metodología para la selección de ecuaciones de volumen. Revista Forestal del Perú 13(2):3-12.
3. Caillez, F. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos: estimación del volumen. Roma, Italia, FAO. v. 1, 91 p. (Centre Technique Forestier Tropical, Estudio FAO:Montes).
4. Girón Hernández, JL. 1998. Distribución del volumen por producto para *Pinus maximinoi* H. E. Moore, en los departamentos de Alta y Baja Verapaz. Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 57 p.
5. Gómez, M; Mora, F. 2003. Comparación de modelos y unificación de ecuaciones de volumen para árboles individuales en plantaciones de teca (*Tectona grandis* Linn) en Costa Rica. Heredia, Costa Rica, Universidad Nacional, Instituto de Investigación y Servicios Forestales. 24 p.



Y Proyectos PIN

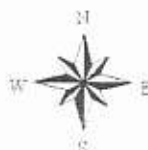
Zona de vida

- ☐ Bm S = Bosque húmedo
- ☐ Bmh S(c) = Bosque húmedo secundario
- ☐ Bmh S(f) = Bosque húmedo secundario
- ☐ Bmh T = Bosque húmedo
- ☐ Bp MBS = Bosque primario
- ☐ Bs S = Bosque seco

| Finca       | Municipio |
|-------------|-----------|
| Semuc 6C    | El Estero |
| El Cerrón   | Liván     |
| La Cumbre   | Moravia   |
| Santa Elisa | Moravia   |
| Rio Bonito  | Liván     |

## LEYENDA

Y Proyectos PINFOR



### Zona de vida

- ☐ Bh S = Bosque húmedo Subtropical ( templado )
- ☐ Bmh Sici = Bosque muy húmedo Subtropical ( cálido )
- ☐ Bmh Sifi = Bosque muy húmedo Subtropical ( frío )
- ☐ Bmh T = Bosque muy húmedo Tropical
- ☐ Bp MBS = Bosque pluvial Montano Bajo Subtropical
- ☐ Bs S = Bosque seco Subtropical

| Finca       | Municipio  | Latitud     | Longitud     |
|-------------|------------|-------------|--------------|
| Semu c GC   | El Estor   | 15.54583333 | -89.69166667 |
| El Cerrón   | Livingston | 15.83750000 | -88.06388889 |
| La Cumbre   | Morales    | 15.55000000 | -88.91666667 |
| Santa Elisa | Morales    | 15.41644444 | -88.69786111 |
| Rio Bonito  | Livingston | 15.68750000 | -88.86666667 |

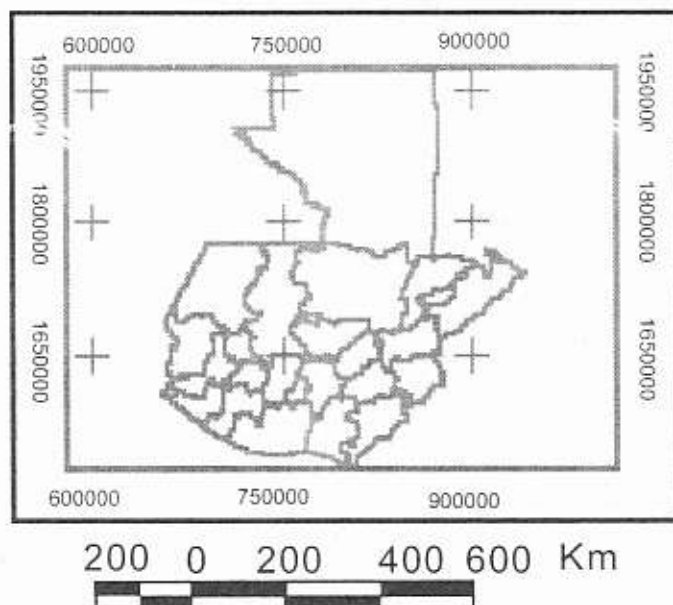


**Figura. 9.** Ubicación geográfica de los proyectos muestreados en la región de estudio, departamento de Izabal.

**Cuadro. 10.** Tabla de Volumen total sin corteza para plantaciones de *Pinus caribaea* para Izabal.

| DAP (cm) | Volumen (m <sup>3</sup> ) |
|----------|---------------------------|
| 5        | 0.00234259                |
| 6        | 0.00631759                |
| 7        | 0.0113702                 |
| 8        | 0.01755114                |
| 9        | 0.02490428                |
| 10       | 0.03346828                |
| 11       | 0.04327774                |
| 12       | 0.05436393                |
| 13       | 0.06675538                |
| 14       | 0.08047835                |
| 15       | 0.09555713                |
| 16       | 0.11201435                |
| 17       | 0.12987116                |
| 18       | 0.14914744                |
| 19       | 0.16986192                |
| 20       | 0.19203232                |

Modelo utilizado:

$$V = -0.00424806 + (0.00016380 \cdot D^2 \ln(D))$$

**Cuadro. 11. Tabla de Volumen Total (m<sup>3</sup>) con corteza para plantaciones de *Pinus caribaea* para Izaola.**

| DAP<br>(cm) | Altura total en metros |           |           |           |           |           |           |           |           |           |  |  |
|-------------|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--|--|
|             | 3                      | 4         | 5         | 6         | 7         | 8         | 9         | 10        | 11        | 12        |  |  |
| 5           | 0.00346162             | 0.0039169 | 0.0043721 |           |           |           |           |           |           |           |  |  |
| 6           |                        | 0.0081624 | 0.0088179 | 0.0094735 |           |           |           |           |           |           |  |  |
| 7           |                        |           | 0.0143796 | 0.0152719 | 0.0161642 |           |           |           |           |           |  |  |
| 8           |                        |           | 0.021101  | 0.0222665 | 0.0234319 |           |           |           |           |           |  |  |
| 9           |                        |           | 0.0290202 | 0.0304953 | 0.0319703 | 0.0334453 |           |           |           |           |  |  |
| 10          |                        |           | 0.0381708 | 0.0399918 | 0.0418128 | 0.0290658 | 0.0454548 |           |           |           |  |  |
| 11          |                        |           | 0.0485826 | 0.050786  | 0.0529894 | 0.0551928 | 0.0573962 |           |           |           |  |  |
| 12          |                        |           |           | 0.0629049 | 0.0655272 | 0.0681494 | 0.0707717 |           |           |           |  |  |
| 13          |                        |           |           |           | 0.0794509 | 0.0825284 | 0.0856059 | 0.0886834 | 0.0917609 |           |  |  |
| 14          |                        |           |           |           |           | 0.0983525 | 0.1019217 | 0.1054908 | 0.10906   |           |  |  |
| 15          |                        |           |           |           |           | 0.1156427 | 0.11974   | 0.1238372 | 0.1279345 |           |  |  |
| 16          |                        |           |           |           |           | 0.1344187 | 0.1390805 | 0.1437422 | 0.148404  |           |  |  |
| 17          |                        |           |           |           |           | 0.1546988 | 0.1599615 | 0.1652242 | 0.1704869 |           |  |  |
| 18          |                        |           |           |           |           | 0.1765002 | 0.1824002 | 0.1883003 | 0.1942003 | 0.2001003 |  |  |
| 19          |                        |           |           |           |           |           | 0.2064129 | 0.2129867 | 0.2195605 | 0.2261343 |  |  |
| 20          |                        |           |           |           |           |           | 0.2320149 | 0.2392989 | 0.2465829 | 0.2538669 |  |  |

Modelo utilizado:

$$V = -0.00361482 + (0.00014193 \cdot D^2 \cdot L_n(D)) + (0.00001821 \cdot D^2 \cdot H)$$

**Cuadro. 12.** Tabla de Distribución del volumen por producto para plantaciones de *Pinus caribaea* para Izabal.

| DAP<br>cm<br>Cc | Tipo de<br>producto | Altura total del fuste en metros |          |                |                |                  |                |              |                |                |                |
|-----------------|---------------------|----------------------------------|----------|----------------|----------------|------------------|----------------|--------------|----------------|----------------|----------------|
|                 |                     | 3                                | 4        | 5              | 6              | 7                | 8              | 9            | 10             | 11             | 12             |
|                 |                     | Porcentaje de Productos (%)      |          |                |                |                  |                |              |                |                |                |
| 5               | TR<br>LE            | 0<br>100                         | 0<br>100 | 0<br>100       |                |                  |                |              |                |                |                |
| 6               | TR<br>LE            |                                  | 0<br>100 | 0<br>100       | 0<br>100       |                  |                |              |                |                |                |
| 7               | TR<br>LE            |                                  |          | 0<br>100       | 0<br>100       | 0<br>100         |                |              |                |                |                |
| 8               | TR<br>LE            |                                  |          | 0<br>100       | 0<br>100       | 0<br>100         |                |              |                |                |                |
| 9               | TR<br>LE            |                                  |          | 55.07<br>44.93 | 61.02<br>38.98 | 65.31<br>34.489  | 69.02<br>30.98 |              |                |                |                |
| 10              | TR<br>LE            |                                  |          | 59.44<br>40.56 | 64.78<br>35.22 | 68.83<br>31.17   | 72<br>28       | 74.6<br>25.4 |                |                |                |
| 11              | TR<br>LE            |                                  |          | 62.73<br>37.27 | 67.63<br>32.37 | 71.356<br>28.644 | 74.28<br>25.72 | 76.6<br>23.4 |                |                |                |
| 12              | TR<br>LE            |                                  |          |                | 69.88<br>30.12 | 73.349<br>26.651 | 76.08<br>23.92 | 78.3<br>21.7 |                |                |                |
| 13              | TR<br>LE            |                                  |          |                |                | 74.971<br>25.029 | 77.55<br>22.45 | 79.6<br>20.4 | 81.34<br>18.66 | 82.78<br>17.22 |                |
| 14              | TR<br>LE            |                                  |          |                |                |                  | 78.77<br>21.23 | 80.7<br>19.3 | 82.38<br>17.62 | 83.75<br>16.25 |                |
| 15              | TR<br>LE            |                                  |          |                |                |                  | 79.82<br>20.18 | 81.7<br>18.3 | 83.26<br>16.74 | 84.57<br>15.43 |                |
| 16              | TR<br>LE            |                                  |          |                |                |                  | 80.72<br>19.28 | 82.5<br>17.5 | 84.03<br>15.97 | 85.28<br>14.72 |                |
| 17              | TR<br>LE            |                                  |          |                |                |                  | 81.52<br>18.48 | 83.3<br>16.7 | 84.7<br>15.3   | 85.91<br>14.09 |                |
| 18              | TR<br>LE            |                                  |          |                |                |                  | 82.23<br>17.77 | 83.9<br>16.1 | 85.3<br>14.7   | 86.47<br>13.53 | 87.46<br>12.54 |
| 19              | TR<br>LE            |                                  |          |                |                |                  |                | 84.5<br>15.5 | 85.84<br>14.16 | 86.97<br>13.03 | 87.93<br>12.07 |
| 20              | TR<br>LE            |                                  |          |                |                |                  |                | 85<br>15     | 86.33<br>13.67 | 87.43<br>12.57 | 88.36<br>11.64 |

TR = Trocilo %

LE = Leña %

Cuadro. 13. Tabla de Volumen total (m<sup>3</sup>) para plantaciones de *Tectona grandis* para Izabal.

| Cuadro. 13. Tabla de volumen total (m³) para plantaciones de eucalipto |                        |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |  |
|------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--|
| DAP<br>(cm)                                                            | Altura total en metros |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |  |
|                                                                        | 6                      | 7        | 8        | 9        | 10       | 11       | 12       | 13       | 14       | 15       | 16       | 17       | 18       |  |
| 5                                                                      | 0.000412               | 0.002929 | 0.005523 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |  |
| 6                                                                      | 0.004446               | 0.00779  | 0.011237 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |  |
| 7                                                                      | 0.008875               | 0.013128 | 0.017511 | 0.02201  | 0.026617 | 0.031321 |          |          |          |          |          |          |          |  |
| 8                                                                      |                        | 0.01891  | 0.024307 | 0.029848 | 0.03552  | 0.041313 | 0.047218 |          |          |          |          |          |          |  |
| 9                                                                      |                        |          | 0.031595 | 0.038253 | 0.045069 | 0.052029 | 0.059124 |          |          |          |          |          |          |  |
| 10                                                                     |                        |          | 0.039352 | 0.047198 | 0.05523  | 0.063433 | 0.071794 | 0.080304 |          |          |          |          |          |  |
| 11                                                                     |                        |          | 0.056657 | 0.065976 | 0.075493 | 0.085194 | 0.095066 |          |          |          |          |          |          |  |
| 12                                                                     |                        |          |          | 0.077282 | 0.088182 | 0.099292 | 0.110598 | 0.122089 |          |          |          |          |          |  |
| 13                                                                     |                        |          |          |          | 0.101476 | 0.114062 | 0.126871 | 0.13989  | 0.153105 |          |          |          |          |  |
| 14                                                                     |                        |          |          |          |          | 0.115354 | 0.129482 | 0.14386  | 0.158472 | 0.173306 |          |          |          |  |
| 15                                                                     |                        |          |          |          |          |          | 0.14553  | 0.161541 | 0.177812 | 0.19433  | 0.211081 |          |          |  |
| 16                                                                     |                        |          |          |          |          |          | 0.162188 | 0.179893 | 0.197886 | 0.216153 | 0.234677 |          |          |  |
| 17                                                                     |                        |          |          |          |          |          |          | 0.198897 | 0.218675 | 0.238751 | 0.259111 | 0.279741 |          |  |
| 18                                                                     |                        |          |          |          |          |          |          | 0.218538 | 0.240158 | 0.262105 | 0.284363 | 0.306915 |          |  |
| 19                                                                     |                        |          |          |          |          |          |          | 0.238797 | 0.262318 | 0.286196 | 0.31041  | 0.334946 |          |  |
| 20                                                                     |                        |          |          |          |          |          |          |          | 0.285141 | 0.311006 | 0.337236 | 0.363814 | 0.390722 |  |

Modelo utilizado:

$$V = -0.01185925 + (0.00011417 \cdot (D^{1.9665}) \cdot (H^{1.163}))$$

**Cuadro. 14.** Tabla de Distribución del Volumen por producto en porcentaje de *Tectona grandis* para Izabal.

| DAP<br>cm<br>c.c | Tipo<br>de<br>producto | Altura Total del Fuste en metros |     |     |     |       |       |                             |       |       |  |  |  |  |    |    |    |  |
|------------------|------------------------|----------------------------------|-----|-----|-----|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|--|--|--|--|----|----|----|--|
|                  |                        | 6                                | 7   | 8   | 9   | 10    | 11    | Porcentaje de productos (%) |       |       |  |  |  |  | 16 | 17 | 18 |  |
| 5                | TRO                    | 0                                | 0   |     |     |       |       |                             |       |       |  |  |  |  |    |    |    |  |
|                  | LE                     | 100                              | 100 |     |     |       |       |                             |       |       |  |  |  |  |    |    |    |  |
| 6                | TRO                    | 0                                | 0   |     |     |       |       |                             |       |       |  |  |  |  |    |    |    |  |
|                  | LE                     | 100                              | 100 |     |     |       |       |                             |       |       |  |  |  |  |    |    |    |  |
| 7                | TRO                    | 0                                | 0   | 0   |     |       |       |                             |       |       |  |  |  |  |    |    |    |  |
|                  | LE                     | 100                              | 100 | 100 |     |       |       |                             |       |       |  |  |  |  |    |    |    |  |
| 8                | TRO                    |                                  | 0   | 0   |     |       |       |                             |       |       |  |  |  |  |    |    |    |  |
|                  | LE                     |                                  | 100 | 100 |     |       |       |                             |       |       |  |  |  |  |    |    |    |  |
| 9                | TRO                    |                                  |     | 0   | 0   |       |       |                             |       |       |  |  |  |  |    |    |    |  |
|                  | LE                     |                                  |     | 100 | 100 |       |       |                             |       |       |  |  |  |  |    |    |    |  |
| 10               | TRO                    |                                  |     | 0   | 0   |       |       |                             |       |       |  |  |  |  |    |    |    |  |
|                  | LE                     |                                  |     | 100 | 100 |       |       |                             |       |       |  |  |  |  |    |    |    |  |
| 11               | TRO                    |                                  |     |     | 13  | 25.58 | 28.91 | 28.09                       | 24.63 |       |  |  |  |  |    |    |    |  |
|                  | LE                     |                                  |     |     | 87  | 74.42 | 71.09 | 71.91                       | 75.37 |       |  |  |  |  |    |    |    |  |
| 12               | TRO                    |                                  |     |     |     | 28.36 | 34.46 | 35.74                       | 34.39 |       |  |  |  |  |    |    |    |  |
|                  | LE                     |                                  |     |     |     | 71.64 | 65.54 | 64.26                       | 65.61 |       |  |  |  |  |    |    |    |  |
| 13               | TRO                    |                                  |     |     |     |       | 37.5  | 40.49                       | 40.61 |       |  |  |  |  |    |    |    |  |
|                  | LE                     |                                  |     |     |     |       | 62.5  | 59.51                       | 59.39 |       |  |  |  |  |    |    |    |  |
| 14               | TRO                    |                                  |     |     |     |       | 38.66 | 43.33                       | 44.63 |       |  |  |  |  |    |    |    |  |
|                  | LE                     |                                  |     |     |     |       | 61.34 | 56.67                       | 55.37 |       |  |  |  |  |    |    |    |  |
| 15               | TRO                    |                                  |     |     |     |       |       | 44.73                       | 47.15 |       |  |  |  |  |    |    |    |  |
|                  | LE                     |                                  |     |     |     |       |       | 55.27                       | 52.85 |       |  |  |  |  |    |    |    |  |
| 16               | TRO                    |                                  |     |     |     |       |       | 44.95                       | 48.53 |       |  |  |  |  |    |    |    |  |
|                  | LE                     |                                  |     |     |     |       |       | 55.05                       | 51.47 |       |  |  |  |  |    |    |    |  |
| 17               | TRO                    |                                  |     |     |     |       |       |                             | 48.99 | 50.91 |  |  |  |  |    |    |    |  |
|                  | LE                     |                                  |     |     |     |       |       |                             | 51.01 | 49.09 |  |  |  |  |    |    |    |  |
| 18               | TRO                    |                                  |     |     |     |       |       |                             | 48.61 | 51.42 |  |  |  |  |    |    |    |  |
|                  | LE                     |                                  |     |     |     |       |       |                             | 51.39 | 48.58 |  |  |  |  |    |    |    |  |
| 19               | TRO                    |                                  |     |     |     |       |       |                             | 47.38 | 51.26 |  |  |  |  |    |    |    |  |
|                  | LE                     |                                  |     |     |     |       |       |                             | 52.62 | 48.74 |  |  |  |  |    |    |    |  |
| 20               | TRO                    |                                  |     |     |     |       |       |                             |       |       |  |  |  |  |    |    |    |  |
|                  | LE                     |                                  |     |     |     |       |       |                             |       |       |  |  |  |  |    |    |    |  |

TRO = Trocillo %

LE = Leña %

## DESCOMPOSICIÓN DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES Y URBANOS CON FINES DE FERTILIZACIÓN

Eddi Alejandro Vanegas Chacón.



### Resumen:

Diferentes tipos de residuos *in natura* (harinas y tortas) y en la forma de compuestos (residuo domiciliar y lodo residual) fueron caracterizados química y bioquímicamente, siendo evaluados respecto a su descomposición, cuando incorporados a muestras de suelos del horizonte B de un Oxisol (Latossolo Vermelho-Amarelo) sin corrección de acidez en condiciones de ambiente controlado. La descomposición fue determinada a través de respirometría para un periodo de incubación de 30 días. Las harinas de huesos y carne y huesos presentaron mayores cantidades totales de N, P y Ca, con relación Ca/P de la orden de 2:1. Los compuestos de lodo residual y residuo domiciliar mostraron las menores relaciones C/N P/S y por tanto mayor potencial de mineralización. El compuesto de re-

siduo domiciliar presentó menor cantidad de C orgánico total, pero con mayor índice de humificación cuando comparado con el residuo domiciliar. Respecto al potencial de mineralización de N, el lodo residual presentó mayor cantidad de N total y N en las fracciones húmicas cuando comparado con el residuo domiciliar. No obstante, estos compuestos presentaron relación ácidos húmicos/ácidos fúlvicos de la misma magnitud, lo que implica la presencia de formas orgánicas de N fácilmente biodegradables en los dos tipos de compuestos. Los valores acumulados de C-CO<sub>2</sub> presentaron correlación positiva con las cantidades de C soluble en agua ( $r = 0,57^{**}$ ) y carbohidratos ( $r = 0,69^{**}$ ), así como correlación negativa con la relación C/N ( $r = -0,56^{**}$ ). En este experimento no se determinó correlación entre descomposición y cantidad de polifenoles solubles. Residuos *in natura* presentaron mayor evolución acumulada de C-CO<sub>2</sub> en comparación a los residuos en la forma de compuestos, los resultados fueron ajustados satisfactoriamente al modelo de saturación de Hill, indicando altas tasas de respiración para el tratamiento con harina de carne y huesos sugieren inmovilización inicial de nutrientes (N,P,S) en relación a los residuos en la forma de compuestos.

**Palabras clave:** residuos industriales y urbanos, respiración del suelo, fraccionamiento de sustancias húmicas.

## Introducción

La producción de residuos está estrechamente relacionada con el crecimiento poblacional e industrial en todo el mundo. Existe preocupación en cuanto al destino final de estos residuos para

minimizar la contaminación ambiental. Entre otros puede mencionarse la incineración, peletización y producción de energía. No obstante, el reciclado vía agrícola (fertilización de plantas, recuperación de áreas degradadas y elaboración de compuestos) tiene mayor potencial debido al incremento de la calidad física, química y biológica del suelo (Melo & Marques, 2000; Jorge et al., 1991; Aggelides & Londra, 2000). Para el uso agrícola de los residuos y compuestos se hace necesario conocer sus características químicas y bioquímicas, se sabe de la presencia de patógenos y parásitos en los lodos residuales, así como de metales pesados en residuos provenientes de áreas industriales (Xin et al., 1992), por lo que su utilización está condicionada al monitoreo de su calidad química e microbiológica (Kabata & Pendias, 2000). Los residuos agroindustriales han sido utilizados con éxito en plantaciones forestales en regiones templadas (Gonçalves et al., 2000), ya en los trópicos su uso es restricto y poco estudiado en condiciones de campo por periodos largos de tiempo, no obstante existe evidencia de su uso tanto en el área forestal (Vaz & Gonçalves, 2002; Rocha et al., 2004), como agrícola (Oliveira et al., 1995).

Reconociendo su potencial como alternativa en el mantenimiento de cantidades adecuadas de materia orgánica en el suelo, el uso eficiente de los residuos derivados de actividades antrópicas se debe iniciar por el conocimiento de sus características químicas y bioquímicas en el estado *in natura*, así como grado de estabilidad y madurez cuando son utilizados en la forma de compuestos. Partiendo de la hipótesis de que el tipo de residuo interfiere en la dinámica de descomposición, esta investigación caracterizó residuos *in natura* y en la forma de compuestos, a fin de evaluar su descomposición cuando son incorporados al suelo en ambiente controlado.

Mediante muestro casual simple fueron colectadas cinco muestras de 320 cm<sup>3</sup> por material muestreado que fueron usadas posteriormente para la obtención de una muestra compuesta. Los residuos *in natura* y en la forma de compuestos fueron colectados en los Estados de Minas Gerais (MG) y São Paulo (SP) en Brasil (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Lugares de coleta de los residuos.

| Material                        | Local de coleta               | Município        |
|---------------------------------|-------------------------------|------------------|
| Harina de huesos                | Boni Despacho                 | Boni Despacho-MG |
| Harina de huesos y carne        | Indústria PIF-PAF             | Ubá - MG         |
| Compuesto de lodo residual      | Estação de saneamento         | Viçosa - MG      |
| Compuesto de residuo domiciliar | Estação de tratamento de lixo | Coimbra - MG     |
| Torta de mamona                 | Indústria e comércio de óleos | Itapeva - SP     |
| Torta de filtro                 | Usina de Jatiboca             | Ponte Nova - MG  |

Para caracterización química, tres submuestras de cada tipo de residuo fueron secadas en horno con circulación de aire a 65°C durante 72 horas, molidas y pasadas en tamiz con malla de 2 mm. Se cuantificó materia orgánica total, por el método de ignición (Kiehl, 1985); cantidad de carbono orgánico total, por oxidación húmeda con calentamiento externo (Yeomans & Bremner 1988); N total, por el método Kjeldahl; elementos totales después de digestión nítrico-perclórica, determinando en los extractos las cantidades de S por espectrometría de emisión de plasma; Ca e Mg, por espectrofotometría de absorción atómica; K, por espectrometría de emisión de llama; e P, por colorimetría (Murphy & Riley, 1962).

Con base en los resultados de C y macronutrientes se formaron grupos diferentes de residuos, utilizando análisis multivariado, con

la técnica de componentes principales (Ribeiro Junior, 2001). Después del agrupamiento se seleccionó un residuo representativo de cada grupo para la caracterización bioquímica y experimento de respirometría. Como parte de la caracterización bioquímica se cuantificó el C soluble en agua, por colorimetría, utilizando Mn(III)-pirofosfato en medio ácido como agente oxidante (Bartlett & Ross, 1988); carbohidratos totales solubles, por el método de la antrona (Brink et al., 1960); polifenoles totales solubles, extraídos con metanol (50%) y determinados por colorimetría, utilizando el reactivo de Folin-Denis; y la capacidad de los polifenoles en complexar proteína, por el método Blue-Dye Labelled Bovine Serum Albumin (BSA), (Anderson & Ingram, 1989). Adicionalmente, para los residuos en la forma de compuestos se realizó el fraccionamiento de las sustancias húmicas por solubilidad diferencial, utilizando los conceptos de fracciones húmicas establecidos por la Sociedad Internacional de Sustancias Húmicas, descritos por Hayes et al. (1989); en esas fracciones fueron determinadas las cantidades de C (Yeomans & Bremner, 1988); N total, por el método Kjeldahl y el índice de humificación por la ecuación:

$$IH = \left( \frac{FAf + FAh}{C \text{ total}} \right) 100$$

Donde:

IH = índice de humificación;

FAf = fracción ácidos fúlvicos;

FAh = fracción ácidos húmicos; y

C total = carbono orgánico total.

En el experimento de respirometría se utilizaron muestras de un suelo seco y tamizado con malla de 2 mm, proveniente del horizonte B de un Oxisol (Latossolo Vermelho-Amarelo), textura ar-

cillosa, sin corrección de acidez y con las siguientes características: pH en agua de 4,57; 0,6 mg P dm<sup>-3</sup>; 6 mg K dm<sup>-3</sup>; (H+Al) de 5,9 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; suma de bases intercambiables (SB) de 0,04 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; capacidad de intercambio catiónico (CTC) de 5,94 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; capacidad máxima de adsorción de P (CMAP) de 1,32 mg g<sup>-1</sup>; y cantidad de materia orgánica de 3,08 dag kg<sup>-1</sup>. La masa equivalente a 2 g de C de cada residuo fue mezclada a 100 g de suelo seco (Paul & Clark, 1996) y colocada en botes plásticos cilíndricos, con 15 cm de altura y 10 cm de diámetro (unidad experimental). También fue incluido un testigo (suelo). El experimento fue conducido durante 30 días con humedad equivalente a 80% de la capacidad de campo en cámara de incubación a 25 ± 1°C, en delineamiento experimental completamente al azar con cuatro repeticiones.

En las unidades experimentales fueron colocados vasos plásticos de 50 cm<sup>3</sup>, donde el C-CO<sub>2</sub> respirado fue capturado en solución de NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup>, formando carbonato con la adición de BaCl<sub>2</sub> 0,05 mol L<sup>-1</sup> y determinado por titulación con HCl 0,25 mol L<sup>-1</sup>. Se cuantificó cada dos días (siete determinaciones) inicialmente y a cada tres días (cinco determinaciones) posteriormente. La masa de C-CO<sub>2</sub> evolucionada fue expresada en términos absolutos (Anderson, 1982) y la cinética de descomposición se ajustó al modelo de saturación de Hill (Morgan et al., 1975):

$$Y = \frac{\alpha * X^{\delta}}{\gamma + X^{\delta}} + \varepsilon$$

Donde:

Y = C-CO<sub>2</sub> evolucionado (mg/100 g de suelo);

$\alpha$  = parámetro relativo a la asíntota, que caracteriza la saturación;

$\gamma$  = parámetro de crecimiento de la función o constante del proceso;

$\delta$  = orden aparente del proceso;

X = tiempo; y

$\varepsilon$  = error.

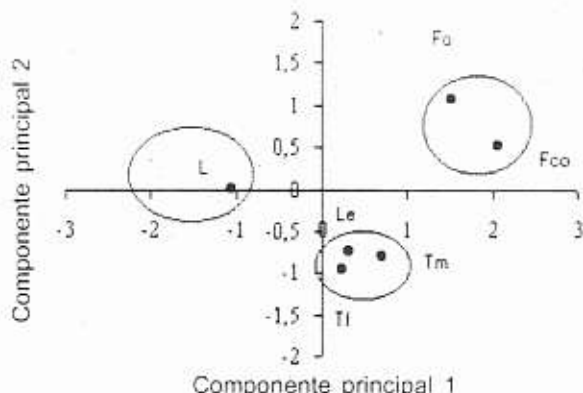
En los análisis estadísticos se utilizó el esquema de parcelas subdivididas en función del tiempo, en el cual los materiales seleccionados correspondieron a las parcelas y las evaluaciones sucesivas a las subparcelas. Análisis de varianza, prueba de medias (Tukey, 0.05) y regresión no lineal fueron realizados utilizando el programa SAEG de la Universidad de Vicosa, MG, Brasil.

## Resultados y discusión

Los residuos mostraron variación en sus características químicas (Cuadro 2). Las cantidades medias de C orgánico fueron de la orden de  $48 \text{ dag kg}^{-1}$ . La harina de carne y hueso y la torta de mamona presentaron las mayores cantidades de N e Mg; la harina de huesos y la harina de carne y hueso presentaron las mayores cantidades de P e Ca, con relación Ca/P de la orden de 2; el lodo residual la mayor cantidad de S y la torta de mamona la de K. En media, los residuos presentaron relación  $C/N < 20$ ; relação  $C/P < 200$  e relação  $C/S < 250$ , indicando potencial de mineralización de N, P e S a corto plazo (Stevenson & Cole, 1999). Según la legislación del Ministerio de la Agricultura brasileño para abonos orgánicos simples y compuestos (Brasil, 2004), la cantidad de materia orgánica, de N total y relación C/N de los residuos estudiados está dentro de los parámetros establecidos, no obstante son residuos ( $>25\%$ ) y compuestos ( $>40\%$ ) con alto porcentaje de humedad, con excepción de la harina de huesos, la torta de mamona y el compuesto de residuo domiciliar.

Los grupos formados mediante técnica de componentes principales fueron: grupo 1- harina de huesos y harina de carne y huesos; grupo 2- torta de mamona, torta de filtro y compuesto de lodo residual; y grupo 3- compuesto de residuos domicili-  
res, Figura 1.

**Figura 1.** Dispersión y agrupamiento por similitud. Fo: Harina de huesos; Fco: Harina de carne y huesos; Le: Lodo residual; Tm: torta de mamona; Tf: torta de filtro; L: residuo domiciliar.



Las variables con mayor contribución en el agrupamiento fueron las cantidades de P (24%), Ca (20%) y C (14%). Para el estudio de descomposición los residuos seleccionados fueron: grupo 1- harina de carne y huesos; grupo 2- compuesto de lodo residual; y grupo 3- compuesto de residuo domiciliar, la caracterización bioquímica es presentada en el Cuadro 3.

**Cuadro 3.** Caracterización bioquímica de residuo y compuestos.

| Material                        | Cag                         | POL  | CARB | BSA   |
|---------------------------------|-----------------------------|------|------|-------|
|                                 | — % — $\mu\text{g mg}^{-1}$ |      |      |       |
| Harina de carne y huesos        | 1,02                        | 0,25 | 0,39 | 24,09 |
| Compuesto de residuo domiciliar | 0,34                        | 0,37 | 0,08 | 6,68  |
| Compuesto de lodo residual      | 0,52                        | 0,43 | 0,09 | 6,63  |

Cag: carbono soluble en agua; POL: polifenoles totales solubles; CARB: carbohidratos totales solubles; BSA: capacidad de los polifenoles en complexar proteína.

La harina de carne y hueso presentó una fracción rica en formas de C fácilmente biodegradable, no obstante su matriz orgánica sea constituida de materiales grasos (Kiehl, 1985), con menor cantidad de polifenoles solubles, pero con capacidad intermedia-

ria de complexar proteína. Los compuestos de residuo domiciliar y lodo residual presentaron las menores cantidades de C soluble en agua y de carbohidratos, producto de su estabilidad, con cantidades intermediarios de polifenoles, pero con menor capacidad en complexar proteína en relación a la harina de carne y huesos (Kiehl, 2005).

**Cuadro 2.** Características químicas (resultados con base en la materia seca) y humedad de los residuos *in natura* y en la forma de compuestos

| Variable | Unidad               | Material         |                          |                 |                 |               |                    |        | CV (%) |
|----------|----------------------|------------------|--------------------------|-----------------|-----------------|---------------|--------------------|--------|--------|
|          |                      | Harina de huesos | Harina de Carne y huesos | Torta de mamoná | Torta de filtro | Lodo residual | Residuo domiciliar | Media  |        |
| MO       | dag kg <sup>-1</sup> | 35.09            | 51.87                    | 61.75           | 71.58           | 47.75         | 20.2               | 48.04  | 38     |
| C        | dag kg <sup>-1</sup> | 23.83            | 30.59                    | 26.64           | 35.89           | 27.6          | 13.11              | 26.28  | 29     |
| N        | dag kg <sup>-1</sup> | 4.2              | 5.55                     | 5.16            | 1.73            | 3.47          | 0.87               | 3.50   | 53     |
| P        | dag kg <sup>-1</sup> | 11.33            | 10.22                    | 1.05            | 1.91            | 1.34          | 1.09               | 4.49   | 109    |
| S        | dag kg <sup>-1</sup> | 0.14             | 0.26                     | 0.3             | 0.34            | 1.19          | 0.24               | 0.41   | 102    |
| CN       |                      | 7                | 6                        | 6               | 24              | 9             | 18                 | 11.67  | 65     |
| CP       |                      | 5                | 8                        | 66              | 49              | 53            | 31                 | 35.33  | 71     |
| C/S      |                      | 454              | 314                      | 237             | 281             | 62            | 146                | 249.00 | 55     |
| Ca       | dag kg <sup>-1</sup> | 22.36            | 17.89                    | 1.96            | 0.88            | 0.75          | 1.81               | 7.61   | 129    |
| Mg       | dag kg <sup>-1</sup> | 0.44             | 0.35                     | 1.32            | 0.1             | 0.23          | 0.3                | 0.46   | 94     |
| K        | dag kg <sup>-1</sup> | 0.07             | 0.19                     | 0.85            | 0.16            | 0.12          | 0.61               | 0.33   | 96     |
| Humedad  | %                    | 7.29             | 50.64                    | 8.23            | 70.45           | 52.09         | 22.06              | 35.13  | 75     |

MO: materia orgánica.

CV: coeficiente de variación entre los diferentes residuos.

El compuesto de residuo domiciliar cuando comparado con el compuesto de lodo residual presentó menor cantidad de C or-

gánico total, mayor cantidad de C en la fracción ácidos fúlvicos, cantidad similar en la fracción ácidos húmicos y aproximadamente la mitad en la fracción humina, con mayor índice de humificación, lo que indica la presencia de formas de carbono de fácil degradación (Cuadro 4). En cuanto al potencial de disponibilidad de N, el lodo residual presentó mayor cantidad de N total e N en las fracciones ácidos fúlvicos, húmicos y humina cuando comparado con el residuo domiciliario. No obstante, estos compuestos presentaron relación ácidos húmicos/ácidos fúlvicos de la misma magnitud, indicando formas orgánicas de N fácilmente biodegradable.

**Cuadro 4.** Cantidades de carbono y nitrógeno total y en las fracciones húmicas extraídas de los compuestos de residuo domiciliario y lodo residual.

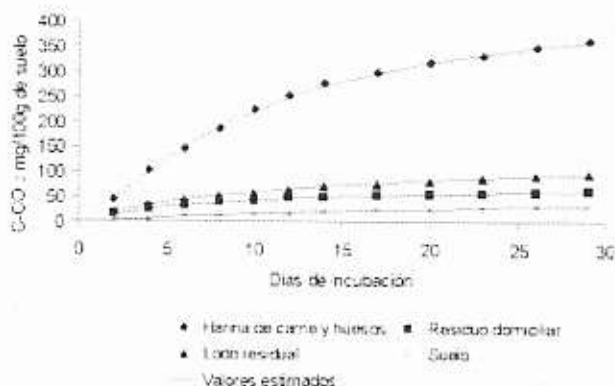
| Carbono              | C                    | FAf   | FAh                | FH     | IH    | FAh/FAf |
|----------------------|----------------------|-------|--------------------|--------|-------|---------|
|                      | dag kg <sup>-1</sup> |       | g kg <sup>-1</sup> |        | %     |         |
| Residuo domiciliario | 13,11                | 15,80 | 6,20               | 106,60 | 16,78 | 0,39    |
| Lodo residual        | 27,60                | 10,30 | 5,60               | 255,80 | 5,76  | 0,54    |
| Nitrógeno            | N                    | FAf   | FAh                | FH     |       | FAh/FAf |
|                      | dag kg <sup>-1</sup> |       | g kg <sup>-1</sup> |        |       |         |
| Residuo domiciliario | 0,87                 | 1,30  | 1,10               | 5,70   |       | 0,85    |
| Lodo residual        | 3,47                 | 4,30  | 3,70               | 25,50  |       | 0,86    |

C: carbono total; N: nitrógeno total; FAf: fracción ácidos fúlvicos; FAh: fracción ácidos húmicos; FH: fracción humina; FAh/FAf: relación de las fracciones ácidos húmicos/ácidos fúlvicos. IH: índice de humificación.

Respecto a la evolución de C-CO<sub>2</sub>, el tratamiento con harina de carne y huesos presentó mayor proporción de C fácilmente biodegradables (Figura 2). La matriz orgánica de la harina de carne y hueso (34% de su constitución) esta compuesta de

7% de materia grasa y 27% de oseína con 5% de nitrógeno (Kiehl, 1985), con cantidades de aminoácidos proporcionales a las cantidades de proteína bruta (Rostagno et al., 2000), presenta una fracción de fácil biodegradación a corto plazo, no obstante se caracteriza por ser un material de difícil descomposición, por lo que puede ser utilizado como abono en plantaciones forestales (Malavolta, 1981). Técnicas de des-gorduración (Tedesco et al., 1999) y pirolisis (Deydier et al., 2005) son recomendadas para facilitar su descomposición e incrementar ganancias en su comercialización como abono para cultivos agrícolas de ciclo corto.

**Figura 2.** Producción acumulada de  $C-CO_2$  (mg/100 g de suelo) durante el periodo de incubación.



Considerando una eficiencia de asimilación de C por los microorganismos de 40% (Siqueira, 1988), se estima que entre 2,57 e 27,59 % del C adicionado por medio de los diferentes tratamientos fue oxidado durante el proceso de descomposición (Cuadro 5). Los tratamientos con compuestos presentaron las menores proporciones de C oxidado, probablemente por la presencia de formas estables de C (Kiehl, 2005).

**Cuadro 5.** Evolución y oxidación de carbono del suelo durante el periodo de incubación. C-CO<sub>2</sub>: carbono absoluto evolucionado; C: carbono asimilado; Cox: total oxidado absoluto; C-CO<sub>2</sub>ox: total oxidado relativo.

| Tratamiento              | C-CO <sub>2</sub> | C      | Cox   | C-CO <sub>2</sub> ox |
|--------------------------|-------------------|--------|-------|----------------------|
|                          | — mg —            | %      |       |                      |
| Harina de carne y huesos | 363,48 a          | 242,32 | 605,8 | 27,59                |
| Residuo domiciliar       | 63,24 d           | 42,16  | 105,4 | 2,57                 |
| Lodo residual            | 97,44 c           | 64,96  | 162,4 | 5,42                 |
| Suelo                    | 32,40 e           | 21,6   | 54    |                      |

$$\text{Cox} = \text{C-CO}_2 + \text{C}$$

$$\% \text{C-CO}_2\text{ox} = \frac{(\text{C-CO}_2 \text{ total oxidado del suelo + material}) - (\text{C-CO}_2 \text{ total oxidado del suelo - material})}{\text{C adicionado por el material}} \cdot 100$$

En la columna, los valores medios seguidos de por lo menos una misma letra no diferencian entre si por la prueba de Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

La producción acumulada de C-CO<sub>2</sub> evolucionado se ajustó satisfactoriamente al modelo de saturación de Hill (Cuadro 6). Los mayores valores para la saturación (parámetro  $\alpha$ ) fueron estimados para los tratamientos con la harina de carne y huesos indicando que este residuo posee mayor proporción de C fácilmente oxidable. Existió variación en la constante de evolución (parámetro  $\gamma$ ), sugiriendo que esta fue sensible a las características cualitativas entre los residuos. Portanto, la cinética de evolução mostró diferentes tendencias de crecimiento aparente (parámetro  $\delta$ ). La estimativa de la tasa máxima de evolución de C-CO<sub>2</sub> se correlacionó positivamente con los valores observados acumulados de la evolución ( $r = 0,93^{**}$ ) sugiriendo su utilización como indicador de labilidad de los residuos estudiados. Esta tasa fue alcanzada entre los cinco y siete días de incubación para los tratamientos con harina de carne y huesos, compuesto de residuo

domiciliar y lodo residual, corroborando la existencia de una fracción de fácil degradación en la harina de carne y hueso. No se observó asociación entre la descomposición y la cantidad de polifenoles solubles, esto puede explicarse porque los residuos *in natura* estudiados en esta investigación presentaron menores cantidades de polifenoles pero con alta capacidad de complexar proteína.

**Cuadro 6.** Estimadores de los parámetros, intervalos de confianza asintóticos (IC): límite inferior (LI) e límite superior (LS), cuadrado del coeficiente de correlación ( $R^2$ ), día en que ocurrió la tasa máxima de evolución y la tasa máxima de evolución de  $C-CO_2$  de conformidad con el modelo de Hill.

| Tratamiento                     | Estimadores de los parámetros (1) | IC     |        | $R^2$ | Días | Tasa máxima de $C-CO_2$ mg d <sup>-1</sup> |
|---------------------------------|-----------------------------------|--------|--------|-------|------|--------------------------------------------|
|                                 |                                   | LI     | LS     |       |      |                                            |
| Harina de carne y huesos        | $\alpha = 445,10$                 | 422,50 | 467,70 | 0,96  | 7    | 103,60                                     |
|                                 | $\gamma = 22,61$                  | 19,60  | 25,61  |       |      |                                            |
|                                 | $\sigma = 1,35$                   | 1,26   | 1,45   |       |      |                                            |
| Compuesto de residuo domiciliar | $\alpha = 90,00$                  | 83,44  | 96,34  | 0,99  | 5    | 23,32                                      |
|                                 | $\gamma = 7,29$                   | 6,92   | 7,66   |       |      |                                            |
|                                 | $\sigma = 0,33$                   | 0,77   | 0,89   |       |      |                                            |
| Compuesto de lodo residual      | $\alpha = 175,50$                 | 140,60 | 210,40 | 0,99  | 5    | 37,56                                      |
|                                 | $\gamma = 12,53$                  | 11,02  | 14,03  |       |      |                                            |
|                                 | $\sigma = 0,81$                   | 0,71   | 0,91   |       |      |                                            |
| Suelo (2)                       | $\alpha = 52,30$                  | 46,21  | 59,30  | 0,94  | 3    | 4,00                                       |
|                                 | $\gamma = 27,66$                  | 25,19  | 30,13  |       |      |                                            |
|                                 | $\sigma = 1,12$                   | 1,02   | 1,21   |       |      |                                            |

- 1) Para todos los tratamientos, los estimadores de los parámetros  $\alpha$ ,  $\gamma$  y  $\delta$  fueron significativos a 5% de probabilidad por la prueba de t.
- 2) Se utilizó como fuente de carbono, el carbono orgánico total del suelo.

## Conclusiones

- Las harinas de huesos y carne y huesos presentan mayores cantidades totales de N, P y Ca, con relación Ca/P de la orden de 2:1. Los compuestos de lodo residual y residuos domiciliares muestran las menores relaciones C/N/P/S.

- El compuesto de residuo domiciliar presenta menor cantidad de C orgánico total, pero con mayor índice de humificación cuando comparado con el compuesto de lodo residual.
- El lodo residual presenta mayor cantidad de N total e N en las fracciones ácidos fúlvicos, húmicos y humina cuando comparado con el residuo domiciliar. No obstante, estos compuestos presentan relación ácidos húmicos/ácidos fúlvicos de la misma magnitud, indicando para ambos compuestos formas orgánicas de N fácilmente biodegradables.
- Residuos *in natura* (harina de carne y huesos) presentan mayor evolución acumulada de C-CO<sub>2</sub> en comparación a los residuos en la forma de compuestos (lodo residual y residuo domiciliar).
- Los valores acumulados de C-CO<sub>2</sub> presentan correlación con las cantidades de C soluble en agua ( $r = 0,57^{**}$ ), carbohidratos ( $r = 0,69^{**}$ ) y relación C/N ( $r = -0,56^{**}$ ).
- Los valores de la evolución de C-CO<sub>2</sub> se ajustan satisfactoriamente al modelo de saturación de Hill, indicando altas tasas de respiración para el tratamiento con harina de carne y huesos sugieren inmovilización de nutrientes (N,P,S) en corto plazo, en relación a los residuos en la forma de compuestos.

## Literatura citada

- AGGELIDES, S.M. & LONDRA, P.A. Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and clay soil. *Biores. Technol.*, 71:253-259, 2000.
- ANDERSON, J.M. & INGRAM, J.S. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. Wallingford: CAB Internacional, 1989. 171 p. il.
- ANDERSON, J.P. Soil respiration. In: Page, A. L.; Miller, R.H. & Keeney, D.R. eds. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. 2 Ed. Madison: Soil Science Society of America, ASA, 1982. p 831-845.
- BARLETT, R.J. & ROSS, D.N. Colorimetric determination on of oxidizable carbon in acid soil solutions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52:1191-1192, 1988.
- BRASIL. Inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, destinados à agricultura. Brasília: Ministério da Agricultura. Secretaria de Fiscalização Agropecuária, Decreto No. 4.954, 2004. 45p.
- BRINK, R.H.; DUBACH, P. & LYNCH, D.L. Measurement of carbohydrates in soil hydrolyzates with anthrone. *Soil. Sci.*, 89:157-166, 1960.
- DEYDIER, E.; GULET, R.; SARDA, S.; SHARROCK, P. Physical and chemical characterisation of crude meat and bone meal combustion residue: "waste or raw material?". *J. Hazardous Materials*. 121:141-148, 2005.
- FREITAS, S.S.; CARDOSO, C.O.; CAMARGO, O.A.; LOPES, E.S. Mineralização e imobilização de nitrogênio em solo tratado com torta de filtro e carbonato de cálcio. *R. Bras. Ci. Solo*, 12:243-248, 1988.
- GONÇALVES, J.L.M.; VAZ, L.M.S.; AMARAL, T.M.; POGGIANI, F. Aplicabilidade de biossólido em plantações florestais: II Efeito na fertilidade do solo, nutrição e crescimento das árvores. In: BETTIOL, W. & CAMARGO, BETTIOL, W. & CAMARGO, O.A. *Impacto ambiental do uso do lodo de esgoto*. São Paulo: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2000. p.179-196.
- HAYES, M.H.B.; MACCARTHY, P.; MALCOLM, R.L. et al. The search for structure: setting the scene. In: HAYES, M.H.B. et al. (Ed), *Humic substances II*. New York: John Wiley and Sons. 1989. p. 3-31.
- JORGE, J.A.; CAMARGO, O.A. & VALADARES, J.M.A.S. Condições físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro quatro anos após aplicação de lodo de esgoto e calcário. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:237-240, 1991.

KEMPERS, A.J. & ZWEERS, A. Ammonium determination in soil extracts by the salicylate method. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.*, 17:715-723, 1986.

KIEHL, E.J. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba: CERES, 1985. p. 407-459.

KIEHL, E.J. Adubação orgânica: 500 perguntas & respostas. Piracicaba: E.J. Kiehl, 2005. 234p.: il.

MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola: Adubos e adubação. 3<sup>ra</sup> ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 594 p.:il.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2<sup>nd</sup> ed. San Diego CA.: Academic Press. 1995. 889 p.:il.

MELO, W.J. & MARQUES, M.O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W. & CAMARGO, O.A., (Eds). Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: EM-BRAPA Meio Ambiente, 2000. p.109-141.

MORGAN, P.H.; MERCER L.P.; FLODIN N.W. General model for nutritional responses of higher organisms. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 72: 4327-4331, 1975.

OLIVEIRA, F.C.; MARQUES, M.O.; BELLINGIERI, P.A.; PERECIN, D. Lodos de esgoto como fonte de macronutrientes para a cultura do sorgo granífero. *Sci. Agric.*, 52:360-367, 1995.

PAUL, E. A. & CLARK, F. E. Dynamics of residue decomposition and soil organic matter turnover. In: *Soil microbiology and biochemistry*. 2nd ed. San Diego: Academic, 1996. p. 158-179.

RIBEIRO JUNIOR, J.I. Análises estatísticas no SAEG. Viçosa: UFV., 2001. 301 p.:il.

ROCHA, G. N.; GONÇALVES, J. L.; & MOURA I. M. Mudanças da fertilidade do solo e crescimento de um povoamento de eucalipto fertilizado com biossólido. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:623-639, 2004.

ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa. 2000. 141p.:il.

SIQUEIRA, J.O. Biotecnologia do solo: Fundamentos e perspectivas. ABEAS. Lavras: ESAL, FAEPE. 1988. 236 p.:il.

STEVENSON, F.J. & COLE, M.A. Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. New York: John Wiley & Sons. 1999 p. 66-68.

- TEDESCO, M.J.; SELBACH, P.A.; GIANELLO, C. & CAMARGO, F.A. Resíduos orgânicos no solo e os impactos no ambiente. In: SANTOS, G. de A. & CAMARGO, F.A. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, 1999. p 159-192.
- VAZ, L.M.S. & GONÇALVES, J.L.M. Uso de biossólidos em povoamento de *Eucalyptus grandis*: Efeito em atributos químicos do solo, no crescimento e na absorção de nutrientes. R. Bras. Ci. Solo, 26:747-758, 2002.
- XIN, T.H.; TRAINA, S.J. & LOGAN, T.J. Chemical properties of municipal solid waste compost. J. Environ. Qual., 21: 318-329, 1992.
- YANG, J.E.; SKOGLEY, E.O.; SCHAFF, B.E.; KIM, J.J. A simple spectrometric determination of nitrate in water, resin, and soil extracts. Soil Sci. Soc. Am. J., 62:1108-1115, 1998.
- YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 19:1467-1476, 1988.

# DETERMINACIÓN FITOQUÍMICA Y DE ACTIVIDAD ANTIFÚNGICA DE CULTIVARES DE *Solanum americanum* Miller Y CARACTERIZACIÓN DE PREPARACIONES PARA LA INDUSTRIA FITOFARMACÉUTICA

A. Cáceres, V. Martínez, A. M. Paz,  
M. Véliz, A. Saravia, I. Gaitán, S. M. Cruz,  
H. Ortiz, C. Teleguario, M. Chigüichón.



## Resumen

El presente estudio evaluó el desarrollo agronómico, las características fitoquímicas y la actividad antifúngica de cinco colectas de *S. americanum* y una de *S. nigrescens*, para compararlos con cultivares desarrollados en los campos de la Facultad de Agronomía y desarrollar preparados fitofarmacéuticos que garanticen la disponibilidad de una droga vegetal de calidad farmacéutica, que tenga suficiente material homogéneo para una fase piloto industrial, permita generar un producto estandarizado para ser ensayado clínicamente y conocer los parámetros para su producción artesanal o industrial.

Las muestras de *S. americanum* fueron colectadas en Nueva Santa Rosa (Santa Rosa), San Miguel Panán (Suchitepéquez), Poptún-San José (Petén), El Jicaro (El Progreso) y Uspantán (El Quiché) y la de *S. nigrescens* en San Pedro Sacatepéquez (San Marcos). Los lugares de colecta son bosques húmedos subtropicales con excepción de El Jicaro el cual seco. Las características físicas de las plantas colectadas fueron muy similares entre sí, siendo únicamente la cantidad de semillas la que varía en cada una de las colectas. El mayor porcentaje de germinación a lo largo de tres meses lo obtuvo la colecta 1.

De acuerdo a los resultados de porcentaje de germinación, rendimiento del extracto y de la actividad antifúngica contra hongos miceliares y levaduriformes, son las colectas 1 procedente de Nueva Santa Rosa, Santa Rosa y 2, procedente de El Jicaro, El Progreso, las colectas que presentan mejores resultados y en las que deberán hacerse nuevas evaluaciones preclínicas para completar su información. Los resultados de toxicidad *in vitro* e *in vivo* demostraron que no presentan toxicidad y por tanto se pueden obtener preparados seguros para su uso en la industria fitofarmacéutica.

## Introducción

Las infecciones micóticas son importantes causas de morbilidad en las poblaciones rurales del país, pero sus tratamientos son generalmente de alto costo, de largo tiempo de administración y cierta toxicidad. Estas infecciones generalmente son de curso

crónico y es a menudo el sistema inmunológico del paciente el que determina su cuadro clínico.

La diversidad florística de Guatemala ha motivado a realizar estudios de detección y validación de plantas de uso medicinal con el objetivo de proponer nuevas alternativas, mayor disponibilidad y mejor índice terapéutico, que permita ampliar la cobertura de atención por los sistemas de salud. Se seleccionó al Macuy (*Solanum nigrescens* Mart. & Gal.), por ser usado como alimento, lo que indica cierta seguridad, y por haberse validado el uso tradicional de la actividad antifúngica (Cáceres *et al.*, 1987), estableciéndose las moléculas responsables de la actividad (He *et al.*, 1994) y realizando ensayos clínicos preliminares (Girón *et al.*, 1988); pero, al tratar de reproducir los experimentos y de escalar en su producción a nivel piloto se encontró que era una especie variable y poco frecuente en el país. *Solanum americanum* Mill. es una especie abundante en el país, presenta actividad similar y es usado indistintamente por la población, pero aparentemente existen cultivares diferentes en su composición química lo que se manifiesta con variabilidad en su bioactividad. En la presente investigación se pretendió proponer el cultivar que tuviera mejor composición y mayor bioactividad de cinco colectas de *S. americanum* y una de *S. nigrescens* en distintos puntos.

### Metodología

Universo de trabajo: La especie inicialmente seleccionada (*S. nigrescens*) por su actividad antifúngica y posibilidades de desarrollo industrial fue escogida por ser anual y de cultivo relativamente fácil, pero por tener una distribución restringida en el país se dificultó su desarrollo agrotecnológico. Por lo tanto el estudio fue

realizado con *S. americanum*, que es más abundante en el país y que se usa indistintamente con *S. nigrescens*, tanto para alimento como para medicina.

**Población:** fueron tomadas muestras de seis cultivares predominantes en el país y provenientes de diferentes zonas ecológicas. El rendimiento fue determinado en sólidos totales a la extracción etanólica, así como su contenido de saponinas como familia química de interés y su actividad *in vitro* contra hongos patógenos (levaduriforme y miceliares) utilizando los procedimientos descritos en el Laboratorio de Bioensayos y el Laboratorio de Investigación de Productos Naturales (LIPRONAT) de la Facultad de CCQQ y Farmacia.

**Obtención de material vegetal (delimitación de la población):** Seis lugares de colecta, de *S. americanum* cinco (1. Nueva Santa Rosa, Santa Rosa; 2. San Miguel Panán, Suchitepéquez; 3. Poptún-San José, Petén; 4. El Jicaro, El Progreso; 5. Uspantán, El Quiché) y de *S. nigrescens* una en San Pedro Sacatepéquez, San Marcos. Se realizaron visitas a cada localidad, ubicando y arribando a los lugares referidos. En cada punto se interrogó a vecinos para identificar áreas donde existieran poblaciones de la especie. Se colectó en fructificación y se secó el material vegetal en hornos y secadores solares de la Facultad de Agronomía, además, en cada localidad se obtuvieron muestras que se herborizaron y confirmaron en el Herbario BIGU de la Facultad de CCQQ y Farmacia (Azurdia, 1995).

**Proceso de obtención de semilla:** se maduraron los frutos y a las semillas obtenidas se les eliminó su excedente de agua y almacenaron adecuadamente (Andrews, 1981). **Propagación de los materiales y preparación del área de siembra:** se utilizaron ban-

dejas formadoras de pilones, se depositaron semillas en el sustrato húmedo de cada espacio de la bandeja, realizando riegos periódicos. Se realizaron controles fitosanitarios (Delgado, 1984). En la preparación del área de siembra se incorporó materia orgánica para favorecer la fertilidad del suelo y la disposición de nutrientes para las plantas

**Germinación:** Es una aceleración del crecimiento del embrión o de la plántula (Vásquez, 1984; Weaver, 1976)

**Composición de la muestra:** se obtuvieron muestras representativas de 250-500 g de material vegetal por población; la mitad del material fue almacenado como muestra de referencia de cada población y la otra sometida a las pruebas de laboratorio (estudio fitoquímico, ensayos biológicos y propagación de los cultivares), los cuales fueron realizados mediante los procedimientos descritos en los manuales del Laboratorio de Bioensayos y LIPRONAT de la Facultad de CCQQ y Farmacia.

Se determinó la actividad de cada uno de los extractos etanólicos obtenidos contra las bacterias Gram positivo *Bacillus subtilis* ATCC 6051 y *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, la micobacteria *Mycobacterium smegmatis* ATCC 607, las bacterias gram negativo *Escherichia coli* ATCC 9637, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Salmonella typhi* ATCC 14028; los hongos levaduriformes *Candida albicans* ATCC 10231 y *Cryptococcus neoformans* C13 según una metodología de siembra por estría en agar-planta (Mitscher, 1972 y 1987); y, los hongos filamentosos *Aspergillus flavus* CCQQ A-75, *Microsporum gypseum* CCQQ M-71, *Trichophyton rubrum* por un método de siembra en pozos de agar-planta (Brancato & Goldingm 1983, Mac Rae et al., 1988, Vanbrenseghem et al., 1970).

También se determinó la toxicidad de los extractos *in vitro* mediante el tamizaje de la actividad citotóxica contra nauplios de *Artemia salina* (Solís *et al.*, 1993) y evaluando la dosis letal media en ratones *in vivo* (Saravia, 2005; Sperman, 1956).

Mediante ensayos macro, semimicro y cromatografía en capa fina (CCF) se identificaron metabolitos secundarios presentes en los extractos etanólicos los cuales fueron alcaloides y saponinas (Wagner & Bladt, 1996).

## Resultados

Se colectaron cinco muestras de *S. americanum* provenientes de Nueva Santa Rosa, Santa Rosa; San Miguel Panán, Suchitepéquez; Poptún-San José, Petén; El Jicaro, El Progreso y Uspantán, El Quiché y una colecta de *S. nigrescens* de San Pedro Sacatepéquez, San Marcos (Tabla 1).

Tabla 1. Resumen de las áreas de colecta.

| No. Colecta | Nombre de la colecta   | Zona de vida                                                                                                     | Nombre científico    | Nombre común   |
|-------------|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------|
| 1           | Nueva Santa Rosa       | Bosque húmedo subtropical templado, bh-S (l)                                                                     | <i>S. americanum</i> | Quilete        |
| 2           | San Miguel Panán       | Bosque muy húmedo subtropical cálido, bmh-S (c)                                                                  | <i>S. americanum</i> | Hierba mora    |
| 3           | Poptún-San José        | Poptún: Bosque muy húmedo subtropical cálido, bmh-S (c).<br>San José: Bosque húmedo subtropical cálido, bh S (c) | <i>S. americanum</i> | Hierba mora    |
| 4           | El Jicaro              | Monte espinoso subtropical, me-S                                                                                 | <i>S. americanum</i> | Quilete, macuy |
| 5           | Uspantán               | Bosque muy húmedo montano bajo subtropical, bmh-MB                                                               | <i>S. americanum</i> | Hierba mora    |
| 6           | San Pedro Sacatepéquez | Bosque muy húmedo montano bajo subtropical, bmh-MB                                                               | <i>S. nigrescens</i> | Hierba mora    |

Fuente: Archivo de BIGU.

En la Tabla 2 se muestran los resultados de las características físicas de cada una de las muestras de las colectas, donde se puede observar que presentan diferentes hábitos y un rendimiento de semilla entre 3,284-6,000 semillas/g.

Tabla 2. Características de las especies.

| No. | Altura planta adulta (m) | Diámetro abertura (cm) | Arquitectura de la planta | Color de flor | Diámetro del fruto (mm) | Semillas en 1 g | Color del fruto maduro |
|-----|--------------------------|------------------------|---------------------------|---------------|-------------------------|-----------------|------------------------|
| 1   | 0.5-1.0                  | 60                     | Recta o decumbente        | Blanca o lila | 7.0                     | 3,284           | Morado                 |
| 2   | 1.0                      | 75                     | Recta o decumbente        | Blanca o lila | 7.3                     | 5,000           | Morado                 |
| 3   | 0.5-0.7                  | 65                     | Recta                     | Blanca o lila | 6.8                     | 4,475           | Morado                 |
| 4   | 0.5-0.6                  | 50                     | Recta                     | Blanca        | 6.0                     | 4,286           | Morado                 |
| 5   | 0.4-1.0                  | 35                     | Recta o decumbente        | Blanca o lila | 7.3                     | 6,000           | Morado                 |
| 6   | 0.75-1.0                 | 60                     | Recta                     | Blanca y lila | 6.5                     | 4,166           | Verde y morado         |

Fuente: datos experimentales

Se colectó además un espécimen de cada una de las colectas para su determinación botánica o taxonómica y registro en el Herbario BIGU (Tabla 3). En la misma Tabla se presentan los resultados del porcentaje de rendimiento de los sólidos extraíbles obtenido mediante la técnica de percolación con etanol al 50%, concentración en rotavapor y desecación en desecadores al vacío.

**Tabla 3.** Registro botánico del Herbario BIGU y porcentajes de rendimiento.

| No. Colecta | Material vegetal (g) | Registro BIGU | Extracto (g) | Rendimiento (%) |
|-------------|----------------------|---------------|--------------|-----------------|
| 1           | 141.79               | 36671         | 43.91        | 30.97           |
| 2           | 178.56               | 36928         | 21.42        | 12.00           |
| 3           | 96.12                | 34032, 34036  | 38.10        | 39.64           |
| 4           | 139.10               | 34033         | 70.90        | 50.97           |
| 5           | 228.25               | 34034         | 81.97        | 35.91           |
| 6           | 116.10               | 34035         | 51.8         | 50.00           |

**Fuente:** Datos experimentales y Archivo de BIGU

En la **Tabla 4** se presentan los resultados del porcentaje de germinación de las semillas de cada una de las colectas durante tres meses.

**Tabla 4.** Porcentajes de germinación.

| No. Colecta | Germinación (%) |
|-------------|-----------------|
| 1           | 72              |
| 2           | 68              |
| 3           | 48              |
| 4           | 60              |
| 5           | 38              |
| 6           | 34              |

**Fuente:** datos experimentales

A los extractos se les determinó la actividad contra bacterias Gram positivo y Gram negativo, hongos miceliares y levaduriformes. Entre las bacterias Gram positivo se trabajó con *Bacillus subtilis* y *Staphylococcus aureus*, entre las bacterias Gram negativo se trabajó con *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhi*, y entre las micobacterias se trabajó con *Mycobacterium smegmatis*.

Se estableció como punto de corte una concentración de 1,000  $\mu\text{g/mL}$ , cuando un microorganismo era inhibido, se consideró que el extracto tenía actividad positiva, si se presentaba crecimiento era considerado negativo o sin actividad (Tabla 5).

**Tabla 5.** Actividad antibacteriana y antilevadura.

| Microorganismos |   |   |   |   |   |   |
|-----------------|---|---|---|---|---|---|
| Colecta         | A | B | C | D | E | F |
| 1               | - | - | - | - | - |   |
| 2               | - | - | - | - | - |   |
| 3               | - | - | - | - | - |   |
| 4               | - | - | - | - | - |   |
| 5               | - | - | - | - | - |   |
| 6               | - | - | - | - | - |   |

**Fuente:** datos experimentales.

**A:** *S. aureus* ATCC 25923, **B:** *S. typhi* ATCC 14028, **C:** *M. smegmatis* ATCC 607, **D:** *B. subtilis* ATCC 6051, **E:** *P. aeruginosa* ATCC 27853, **F:** *C. neoformans* C13, **G:** *E. coli* ATCC 25922.

(-) Actividad negativa a concentración de 1000  $\mu\text{g/mL}$ . Concentración en  $\mu\text{g/mL}$ .

En la Tabla 6 se presentan los resultados del tamizaje contra hongos miceliares (*Aspergillus fumigatus*, *A. flavus*, *A. niger*, *Microsporum gypseum*, *Trichophyton rubrum*, *T. mentagrophytes*, *Sporothrix schenckii* y *Fonsecaea pedrosoi*) hongos levaduriformes (*Candida albicans*, *C. glabrata*, *C. steatoidea*, *C. parapsilosis*, *C. krusei*, *S. cerevisiae* y *Cryptococcus neoformans*).

Tabla 6. Tamizaje hongos miceliares (mg/mL).

| No.<br>Colecta | Microorganismos |   |   |   |   |      |      |   |     |     |      |     |   |      |     |
|----------------|-----------------|---|---|---|---|------|------|---|-----|-----|------|-----|---|------|-----|
|                | A               | B | C | D | E | F    | G    | H | I   | J   | K    | L   | M | N    | O   |
| 1              | -               | - | - | - | - | 62.5 | 62.5 | - | 125 | 500 | 62.5 | 125 | - | 62.5 | 250 |
| 2              | -               | - | - | - | - | -    | 500  | - | 250 | -   | 500  | -   | - | 500  | 250 |
| 3              | -               | - | - | - | - | 125  | 62.5 | - | 250 | 1   | 500  | 125 | - | 125  | -   |
| 4              | -               | - | - | - | - | 31.2 | 62.5 | - | 500 | 500 | 500  | 125 | - | 62.5 | 500 |
| 5              | -               | - | - | - | - | 125  | 125  | - | 500 | -   | 62.5 | 500 | - | 62.5 | 500 |
| 6              | -               | - | - | - | - | 125  | 500  | - | 125 | -   | 500  | 125 | - | 125  | 250 |

Fuente: datos experimentales

A: *Aspergillus fumigatus* ATCC 26934, B: *Aspergillus flavus* ATCC 9170, C: *Aspergillus niger* ATCC 9029, D: *Microsporum gypseum* C 115 2000, E: *Trichophyton rubrum* C 113 2000, F: *Trichophyton mentagrophytes* ATCC 9972, G: *Sporothrix schenckii* C19, H: *Fonsecaea pedrosoi* I: *C. albicans* ATCC 10231, J: *C. glabrata* K: *C. steatoidea*, L: *C. parapsilosis*, M: *C. krusei*, N: *S. cerevisiae*, O: *Cryptococcus neoformans*

(-) Actividad negativa a concentración de 1000 µg/mL.

Fue realizado también el tamizaje contra hongos miceliares por la técnica de microdilución en placa, encontrándose actividad contra levaduras y dermatofitos (Tabla 7).

Tabla 7. Actividad antifúngica a dosis por el método de microdilución en placa.

| Colecta | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1       | - | - | - | - | - | - | + | + | + |
| 2       | - | - | - | + | - | - | + | + | + |
| 3       | - | - | - | - | - | - | + | + | + |
| 4       | - | - | - | + | - | + | + | + | + |
| 5       | - | - | - | + | - | + | + | + | + |
| 6       | - | - | - | - | - | + | + | + | + |

Fuente: datos experimentales.

A: *Aspergillus fumigatus* ATCC 26934, B: *A. flavus* ATCC 9170, C: *A. niger* ATCC 9029, D: *Microsporum gypseum* C 115 2000, E: *Trichophyton rubrum* C 113 2000, F: *T. mentagrophytes* ATCC 9972, G: *Candida albicans*, H: *Cryptococcus neoformans*, I: *Saccharomyces cerevisiae*. (-) Actividad negativa a concentración de 1000  $\mu\text{g/mL}$ .

A un compuesto que se administra es importante determinar su letalidad, en este estudio se determinó la actividad citotóxica de los seis extractos preparados contra nauplios de *A. salina* y la dosis letal media *in vivo* utilizando ratones como modelo animal. Se determinó que únicamente las colectas 1 y 3 tienen actividad citotóxica a una concentración de 500  $\mu\text{g/mL}$ .

La dosis letal media se realizó únicamente en el extracto de la colecta 1, ya que fue el extracto con mejor actividad antifúngica contra *C. albicans* y *C. neoformans* hongos para los cuales está reportado en otros estudios de su eficacia como tratamiento fitoterápico popular. También se le realizó a la colecta 6 por ser la única colecta de *S. nigrescens*. La dosis que se

administró en ratones fue de 200, 250, 300, 350, 400 y 450 mg/kg, con cinco ratones para cada dosis, obteniéndose ninguna de las dos especies ensayadas es tóxica a esas concentraciones (Tabla 8).

**Tabla 8.** Actividad citotóxica contra nauplios de *Artemia salina* ( $\mu\text{g/mL}$ ) y Dosis letal media en ratones.

| Colecta | Citotoxicidad contra <i>A salina</i> | Dosis letal media en ratones DL <sub>50</sub> |               |                 |
|---------|--------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------|-----------------|
|         |                                      | Ratones Inoculados                            | Dosis (mg/Kg) | Ratones muertos |
| 1       | 1000                                 | 25                                            | 250           | 1               |
|         |                                      |                                               | 300           | 1               |
|         |                                      |                                               | 350           | 1               |
|         |                                      |                                               | 400           | 0               |
|         |                                      |                                               | 450           | 0               |
| 2       | -                                    |                                               |               |                 |
| 3       | 1000                                 |                                               |               |                 |
| 4       | -                                    |                                               |               |                 |
| 5       | -                                    |                                               |               |                 |
| 6       | -                                    | 25                                            | 250           | 2               |
|         |                                      |                                               | 300           | 1               |
|         |                                      |                                               | 350           | 0               |
|         |                                      |                                               | 400           | 0               |
|         |                                      |                                               | 450           | 0               |

**Fuente:** datos experimentales

(-) Actividad negativa a concentración de 1000  $\mu\text{g/mL}$

En la tabla 10 se presentan los resultados de humedad, cenizas totales del material vegetal y sólidos extraíbles, densidad y pH del mestruo.

**Tabla 9.** Humedad, cenizas totales del material vegetal y sólidos extraíbles, densidad y pH del mestruo.

| Colecta | Humedad (%)  | Cenizas totales (%) | Sólidos extraíbles(%) | Densidad (g/mL) | pH  |
|---------|--------------|---------------------|-----------------------|-----------------|-----|
| 1       | 10.62 ± 0.56 | 12.13               | 10.85                 | **              | **  |
| 2       | 9.80         | **                  | 92.73                 | 1.0170          | 5.5 |
| 3       | **           | **                  | 27.72                 | **              | **  |
| 4       | 11.17 ± 0.48 | **                  | 97.73                 | 1.2169          | 5.5 |
| 5       | 10.89 ± 2.0  | 14.31               | 5.02                  | 0.9379          | 5.5 |
| 6       | 10.51 ± 1.03 | 15.56               | 57.94                 | 1.0140          | 5.9 |

**Fuente:** datos experimentales    \*\* Muestra insuficiente

Mediante ensayos macro, semimicro y cromatografía en capa fina (CCF) se identificaron metabolitos secundarios presentes en los extractos etanólicos los cuales fueron alcaloides y saponinas (Tablas 10-12).

**Tabla 10.** Alcaloides (cualitativo).

| Colecta | Mayer Dragendorff Wagner |    |   |   |    |   | CCF                 |   |
|---------|--------------------------|----|---|---|----|---|---------------------|---|
|         | R                        | r  | R | R | R  | r | R                   | R |
| 1       | Pp                       | +  | T | + | Pp | + | Zonas color naranja | + |
| 2       |                          | ++ |   | + |    | + | (Vis)               | + |
| 3       |                          | ++ |   | + |    | + |                     | + |
| 4       |                          | +  |   | + |    | + |                     | + |
| 5       |                          | ++ |   | + |    | 0 |                     | + |
| 6       |                          | 0  |   | + |    | 0 |                     | + |

**Fuente:** datos experimentales.

**Revelador:** Dragendorff, **Fase móvil:** Tolueno-acetato de etilo-dietilamina (35-10-5). **Estándares:** Atropina y papaverina.

**Referencias:** R= reacción; r = resultado Pp: precipitación, T turbidez.

Tabla 11. Alcaloides (cuantitativo).

| Colecta               | Distancia de la muestra | Distancia de fase móvil | Valor Rf | Presencia de alcaloides | Alcaloides (%) |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------|----------|-------------------------|----------------|
| 1                     | 7.5                     | 7.7                     | 0.97     | +                       | 5.08 ± 3.86    |
| 2                     | 3.5                     | 7.7                     | 0.45     | +                       | 8.83 ± 2.97    |
| 3                     | 3.0                     | 7.7                     | 0.39     | +                       | 8.02 ± 2.49    |
| 4                     | 3.0                     | 7.7                     | 0.39     | +                       | 2.44           |
| 5                     | 7.5                     | 7.7                     | 0.97     | +                       | 5.37 ± 2.99    |
| 6                     | 7.5                     | 7.7                     | 0.97     | +                       | **             |
| Atropina (estándar)   | 2.5                     | 7.7                     | 0.32     | ++                      |                |
| Papaverina (estándar) | 4.2                     | 7.7                     | 0.54     | ++                      |                |

(+) Color naranja, presencia de alcaloides.

Tabla 12. Saponinas.

| Colecta             | Distancia de la muestra | Distancia de la fase móvil | Valor Rf | Saponinas (%) |
|---------------------|-------------------------|----------------------------|----------|---------------|
| 1                   | 4.8                     | 7.8                        | 0.615    | 2.01          |
| 2                   | 4.8                     | 7.8                        | 0.615    | 2.14          |
| 3                   | 4.8                     | 7.8                        | 0.615    | 2.04          |
| 4                   | 4.8                     | 7.8                        | 0.615    | 2.77          |
| 5                   | 4.8                     | 7.8                        | 0.615    | 1.46          |
| 6                   | 4.8                     | 7.8                        | 0.615    |               |
| Ergosterol*         | 5.2                     | 7.8                        | 0.66     |               |
| Colesterol*         | 5.2                     | 7.8                        | 0.66     |               |
| Saponinas*          | -                       | -                          | -        |               |
| 20-Hidroxicedisona* | -                       | -                          | -        |               |

- = No se observaron, \* Estándares.

## Discusión de resultados

Las áreas de colecta son zonas de bosque húmedo, a excepción de El Jícaro que son montes espinosos y el clima varía de subtropical templado hasta cálido (Tabla 1).

Las características de las muestras colectadas fueron similares entre sí, con una altura que varía desde 0.5 a 1 m, son plantas rectas o decumbentes, flores blancas a lilas y fruto de color morado o morado-verdoso. La cantidad de semillas varía en cada una de las colectas desde 3,000-6,000 semilla/g de fruto, siendo la colecta 5 la que contiene mayor cantidad. El mayor número de semillas de las colectas 2 a la 6 se debe a que contienen semillas muy pequeñas (Tabla 2).

La colecta 1, fue la que presentó mayor porcentaje de germinación (72%) respecto a las otras colectas. El área donde se estableció la colección de campo (campos de la Facultad de Agronomía) también es un bosque húmedo a una altitud de 1,502 msnm y una precipitación de 989.8 mm, distribuidos en 111 días. Humedad relativa: 79%, temperatura máxima de 20.6°C y mínima de 17.4°C. El suelo tenía un pH 6.7, 24.1 mg/mL de fósforo, 224 mg/mL de potasio, 11.22 Meq/100 mL de suelo de calcio y 3.26 meq/dL de suelo de magnesio.

Se obtuvieron los extractos en etanol al 50% de las seis colectas por extracción en percolador y concentración en rotavapor. De los extractos obtenidos la colecta 4 presentó el mayor porcentaje de rendimiento con un 50.97%, mientras que la colecta 2 fue la de menor rendimiento con un 12.00% (Tabla 3).

A los extractos se les determinó la actividad contra bacterias Gram positivo y Gram negativo, hongos miceliares y levaduriformes.

Los resultados presentados en la Tabla 6 muestran que todas las colectas presentaron actividad contra *C. albicans* y *C. neoformans* (con excepción de la colecta 3, que para este último no

hubo actividad). La colecta 1 el extracto con mejor actividad anti-levadura (*C. albicans* y *C. neoformans*).

Todos los extractos presentaron actividad contra *T. mentagrophytes* y *S. schenckii* excepto la colecta 2 que fue positiva únicamente para este último hongo. La mejor actividad de estos dos hongos fue la colecta 4, seguida de la colecta 1 y la 3 (Tabla 7).

Se evaluó además la toxicidad de los extractos realizando la toxicidad contra nauplios de *Artemia salina* y la dosis letal media en ratones. Ninguno de los extractos presentó toxicidad alguna en ambas pruebas (Tablas 8).

En la tabla 9 se presentan los resultados de sólidos extraíbles, porcentaje de humedad y cenizas totales de las seis colectas, obteniéndose resultados similares para todas las colectas, con excepción de los sólidos extraíbles, ya que las colectas 2 y 4 dieron resultados de 92.73% y 97.73% respectivamente, comparados con los otros extractos que no pasaron de 30%.

Se realizó la detección cuantitativa de saponinas con un porcentaje de 2% en la mayoría de las colectas. Respecto a la cuantificación de alcaloides no se obtuvieron resultados reproducibles, por un margen de error alto en dos metodologías evaluadas para la valoración de alcaloides.

## Conclusiones

De acuerdo a los resultados del porcentaje de germinación y rendimiento, así como de la actividad antifúngica contra hongos miceliares y levaduriformes, las mejores muestras son la colecta 1 procedente de Nueva Santa Rosa, Santa Rosa y la colecta 4 de El Jicaro, El Progreso, las que presentaron mejores resultados. Los resultados de toxicidad *in vitro* e *in vivo* demostraron que no presenta toxicidad y por tanto se puede obtener preparados seguros para su uso en la industria fitofarmacéutica. Esperamos continuar con la evaluación agrotecnológica y fitofarmacéutica para proponer el cultivar que tenga mejores posibilidades para su desarrollo.

## Bibliografía

- Andrews F.S. 1981. Principios de horticultura. 3 Ed. México, D.F., Continental, 575 p.
- Azurdia C. 1995. Caracterización de algunos cultivos nativos de Guatemala. Instituto de Investigaciones Agronómicas, Facultad de Agronomía, USAC. 172 p.
- Brancato FP & Golding NS. 1983. The diameter of the mould colony as a reliable measure of growth. J. Mycol. 45:848-863.
- Burlingame EM & Reddish GP. 1973. Laboratory methods for testing fungicides used in the treatment of epidermophytoses. J. Lab. Clin. Med. 14:649-653.
- Cáceres A, Girón LM, Alvarado SR, Torres MF. 1987. Screening of antimicrobial activity of plants popularly used in Guatemala for the treatment of dermatomucosal diseases. J Ethnopharmacol. 20:223-237.
- Centro regional de ayuda técnica. 1965. Semillas; manual para análisis de su calidad. Trad. José Mesa. México, Edit. Herrero. 515 p.
- CYTED. 1993. Manual de Técnica de Investigación. Bogotá, Proyecto X-1, s/p.
- Delgado Giron F.J. 1984. Rendimiento y contenido de proteína de hierba Mora

- (*Solanum* sp.) a diferente número de días a cosecha y número de cortes. Tesis Ing. Agrónomo. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Agronomía. 79 p.
- Girón L, Aguilar GA, Cáceres A, Arrollo GL. 1988. Anticandidal activity of plants used for the treatment of vaginitis in Guatemala and clinical trial of *Solanum nigrescens* preparation. *J. Ethnopharmacol.* 22:307-313.
- He XG, Mocek U, Floss HG, Cáceres A, Girón LM et al. 1994. An antifungal compound from *Solanum nigrescens*. *J. Ethnopharmacol.* 43:173-177.
- Mac Rae WD, et al. 1988. Studies on the pharmacological activity of Amazonian Euphorbiaceae. *J. Ethnopharmacol.* 22:143-172.
- Mitscher LA et al. 1972. Antimicrobial agents from higher plants. 1. Introduction, rationale and methodology. *Lloydia* 35: 157-166.
- Mitscher LA, Darker S & Gollapudi A. 1987. A modern look at folkloric use as Anti-infective agents. *J. Nat. Prod.* 5: 1025-1041.
- Saravia, A. 2005. Métodos de ensayos toxicológicos y farmacológicos experimentales in vivo e in vitro. Editorial Universitaria. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Sperman Karber. 1956. In. D.J. Finney. Statistical Method in Biological Assay. Ch Griffin and Co London, pp 254.
- Solis PN (1993) Manual de caracterización y análisis de drogas vegetales y productos fitoterapéuticos. Guatemala OEA/AICD/Universidad de San Carlos de Guatemala. 132 p.
- Vanbrenseghem R, De Vroey C, Takashio M. 1970. Production of macroconidia by *Microsporum ferrugineum* OTA 1922. *Sabouraudia* 7:252-56.
- Vázquez Solorzano JA. 1984. Estudio del progreso germinativo en hierba mora (*Solanum* sp.). Tesis Ing. Agrónomo. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 181 p.
- Weaver RJ. 1976. Reguladores del crecimiento de las plantas en la agricultura. México. Trillas. 622 p.
- Wagner H, Bladt S (1996) Plant drug analysis. Berlin, Springer-Verlag, 384 p.

## BIOLOGÍA Y CONTROL DEL COYOLILLO

Ramiro Arnoldo López Pineda

Manuel de J. Martínez Ovalle

tikalia

---

### Introducción

El coyolillo (*Cyperus rotundus* L.) ha sido reportado como una de las especies de maleza más agresivas en las áreas tropicales y sub-tropicales del mundo. Su efecto nocivo se refleja en su alta capacidad reproductiva (asexual) y competitiva ocasionando disminución en rendimientos que varían entre 30 y 50 %, si no se controla durante las épocas críticas de competencia en cultivos anuales como el maíz (*Zea mays*), trigo (*Triticum vulgare*), sorgo (*Sorghum vulgare*) (Cruz, 1990).

En el presente artículo se incluyen resultados de trabajos experimentales desarrollados en Colombia, entre 1968 y 1982, por investigadores de las estaciones experimentales del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y el Departamento Técnico de Monsanto Colombiana.

## MORFOLOGÍA DEL COYOLILLO

(*Cyperus rotundus* L.)

### Estructuras aéreas:

Las hojas en número de cuatro a siete, se agrupan en forma de "roseta" y sus vainas forman un pseudotallo de sección triangular, característico de la familia *Cyperaceae*, los estomas sólo se presentan en el envés; en número que varía entre 140 a 370/mm<sup>2</sup>. La inflorescencia es una umbela de color café o rojiza, sobre un raquis de 20 a 30 cm de largo, que emerge desde el bulbo basal. El fruto es un aquenio de 1.5 x 0.8 mm. (Cruz, 1990).

### Estructuras subterráneas:

Los tubérculos almacenan las reservas nutritivas. Son de forma oval y esférica, con un número de 3 a 10 yemas en espiral, de las cuales sólo brotan 1 ó 2. Los rizomas son tallos subterráneos cubiertos por escamas membranosas que protegen las yemas, terminan o salen de un tubérculo o bulbo basal formando cadenas de tubérculos. El bulbo basal se forma en la unión

del rizoma, y el pseudotallo es el tallo verdadero de la planta, el cual está reducido a un disco en cuya parte inferior se producen raíces y en la superior las hojas y el pseudotallo. El bulbo basal tiene yemas localizadas en las axilas de las hojas, las cuales generan rizomas. La propagación por este medio es más rápida que por rizomas. Las raíces adventicias se forman en la parte inferior del bulbo basal y en los entrenudos de los tubérculos.

### **Crecimiento y reproducción del coyolillo**

Existe dominancia apical en los tubérculos individuales y en las cadenas de tubérculos; generalmente, en la cadena germina primero la yema apical del tubérculo más joven, pero al cortar los rizomas que conectan la cadena, se estimula la germinación de todos los tubérculos. Esto explica la multiplicación más rápida del coyolillo, en suelos sometidos a frecuentes operaciones mecánicas de control. La yema apical forma un rizoma a partir del cual se desarrolla un tubérculo o un bulbo basal. Las plantas sólo brotan a partir del bulbo basal.

Un tubérculo tiene capacidad para brotar a profundidades de hasta 90 cm en el suelo, alimentado por sus reservas nutritivas, sin embargo, la mayor concentración de tubérculos se encuentra entre los 0 y 20 cm en el suelo. La producción del primer tubérculo a partir de un tubérculo demora 25 días; pero, a los 120 días, el número de tubérculos producidos puede llegar a 250. En el Cuadro 1 aparecen las cantidades de tubérculos producidos durante diferentes periodos de tiempo.

**Cuadro 1.** Frecuencia de producción de tubérculos de coyolillo (*Cyperus rotundus* L.) en el tiempo.

| TIEMPO (días) | CANTIDAD DE TUBÉRCULOS |
|---------------|------------------------|
| 25            | 1                      |
| 90            | 100                    |
| 105           | 146                    |
| 120           | 250                    |
| 730 (2 años)  | 10,000                 |

**Fuente:** Cruz, R. 1990. El coquito (*Cyperus rotundus* L.), biología y control.



**Figura 1.** Planta completa de (*Cyperus rotundus* L.), nótese las estructuras asexuales de reproducción.

En cuanto a la distribución de los tubérculos en el suelo, se observó que la mayor concentración se ubicó en los primeros 20 cm de profundidad. (Cuadro 2)

**Cuadro 2.** Distribución de tubérculos de coyotillo en el perfil del suelo.

| PROFUNDIDAD EN EL SUELO (cm) | PORCENTAJE |
|------------------------------|------------|
| 0 – 10                       | 55         |
| 11 – 20                      | 32         |
| 21 – 30                      | 13         |

**Fuente:** Cruz, R. 1990. El coyotillo (*Cyperus rotundus* L.), biología y control.

En las poblaciones antiguas, el número de plantas está limitado a un máximo de 10.5 millones/ha, mientras que la población de tubérculos puede ser 4 a 5 veces mayor. Esta diferencia es menor en poblaciones jóvenes, debido a la menor producción de tubérculos. Las raíces pueden desarrollarse hasta 1.2 a 1.5 m de profundidad en el suelo, proporcionándole resistencia a condiciones de sequía.

La floración ocurre entre los 20 y 40 días después de la emergencia. Se producen 200 a 1200 semillas por inflorescencia. El porcentaje de germinación de las semillas es muy bajo durante los primeros dos años. A los 3 o 4 años, la germinación alcanza un 12 % y a los 5 a 7 años llega al máximo de 40 a 50 %. Después de 15 años, la viabilidad se pierde. Esto demuestra que la propagación por medio sexual puede llegar a ser significativa en esta maleza.

## **Una característica especial del coyolillo**

Se ha comprobado que el coyolillo produce sustancias biológicamente activas, que actúan sobre la germinación y el desarrollo de otras plantas. Estas sustancias fueron identificadas como fenoles naturales. Se cree que dichas sustancias actúan sobre los procesos hormonales que regulan el crecimiento de las plantas y que la acción de inhibir o estimular depende de su concentración en el medio donde germinan o crecen otras plantas.

Ciertas evidencias experimentales demuestran que estas sustancias alteran las reacciones que gobiernan la síntesis, transformación y degradación del ácido indolacético (AIA), una de las hormonas que regula el crecimiento de las plantas. Estos fenoles son producidos y exudados al medio externo, solamente por las partes subterráneas del coyolillo; son sustancias muy solubles y poco estables que no tienen persistencia en el suelo. Las especies más susceptibles a dichos exudados, son las que tienen semillas más pequeñas. La latencia de los tubérculos ha sido asociada con elevadas concentraciones de estas sustancias. (Cruz, 1990).

## **Estudios de competencia de maleza realizados con coyolillo**

En maíz se determinó que la época crítica de competencia fue durante los primeros 30 días. Durante este período los rendimientos disminuyeron en un 27 %, aunque el cultivo permaneciera limpio durante el resto del ciclo. La presencia de coyolillo

durante todo el ciclo del maíz redujo los rendimientos en un 40 %: Por el contrario, cuando el cultivo permaneció desyerbado durante los primeros 30 días, el rendimiento solo disminuyó 7 %, aunque el cultivo continuara enmalezado durante el resto del ciclo. El sorgo (*Sorghum vulgare*) fue más susceptible que la soya (*Soja max*). En yuca (*Manihot sculenta*) el rendimiento disminuyó 17 % cuando la competencia se mantuvo durante todo el ciclo del cultivo.

### **Efecto de la luminosidad sobre el desarrollo del coyolillo**

Infestaciones elevadas tienden a disminuir en condiciones de baja luminosidad. Cultivos perennes como banano (*Musa sapientum*) y cacao (*Theobroma cacao*), o cultivos de cobertura como el kudzu (*Pueraria phaseoloides*) reprimen el desarrollo del coyolillo (*Cyperus rotundus* L.). Bajo condiciones de poca luminosidad, la longitud de las hojas del coyolillo aumenta. Este efecto se manifiesta a partir del 62 % de sombra y tiene su máxima expresión con 92 % de sombra. En condiciones de oscuridad total, las plantas de coyolillo murieron. La falta de luz afecta en mayor grado la parte subterránea. Bajo un 67 y 80 % de sombra, el desarrollo de la parte subterránea disminuye en un 30 y 47 % respectivamente.

### **Efecto del agua y luz solar sobre la viabilidad de tubérculos de coyolillo**

Tubérculos sumergidos permanentemente en agua no germinan pero conservan su viabilidad por períodos largos de tiempo. En cambio, la inmersión en agua por períodos largos, estimula la

germinación de un % más alto y la brotación de un mayor número de yemas/tubérculo.

La germinación se afecta entre las 6 y 24 horas de exposición al sol y se pierde totalmente entre los 7 y 14 días por deshidratación.

**Cuadro 3.** Disminución de germinación de tubérculos de coyolillo debido a sumersión en agua o exposición al sol.

| TIEMPO DE EXPOSICIÓN | SUMERGIDOS EN AGUA |             | EXPUESTOS AL SOL |
|----------------------|--------------------|-------------|------------------|
|                      | % de germinación   | # de brotes | % de germinación |
| 0 horas              | 86                 | 90          | 92               |
| 6 horas              | 94                 | 106         | 90               |
| 24 horas             | 90                 | 114         | 52               |
| 7 días               | 94                 | 122         | 26               |
| 14 días              | 94                 | 138         | 0                |
| 28 días              | 94                 | 158         | 0                |

**Fuente:** Cruz, R. 1990. El coquito (*Cyperus rotundus* L.), biología y control.

### Efecto de la textura y humedad del suelo sobre el desarrollo

La textura y humedad del suelo afectan significativamente la producción de tubérculos. La máxima producción (250 en 120 días) se obtuvo en suelos arcillosos al 100 % de Capacidad de Campo y la mínima cuando el suelo se mantuvo a un

25 % de Capacidad de Campo. Con esta humedad se produjeron 50 a 65 tubérculos en suelo pesado y 24 a 40 en suelos arenosos.

Bajo condiciones de humedad excesiva (suelo saturado de humedad) la producción de tubérculos disminuye levemente en comparación con el nivel óptimo de 100 % de Capacidad de Campo. En condiciones de baja humedad (25 a 50 % de Capacidad de Campo), la floración se redujo un 30 %, especialmente en suelos arenosos y arcillosos. En conclusión, el coyolillo se adapta a condiciones extremas de humedad y textura del suelo: desde saturado hasta 25 % de Capacidad de Campo y desde arenoso hasta arcilloso, pero existen diferencias significativas en el desarrollo bajo condiciones diferentes de textura y humedad del suelo.

**Cuadro 4.** Efecto de la humedad y la textura del suelo en el número de tubérculos producidos a los 120 días después de la siembra.

| CONTENIDO<br>DE HUMEDAD | CLASE TEXTURAL DEL SUELO |                     |         |                |
|-------------------------|--------------------------|---------------------|---------|----------------|
|                         | ARCILLOSO                | FRANCO<br>ARCILLOSO | ARENOSO | MUY<br>ARENOSO |
| SATURADO                | 220                      | 222                 | 130     | 45             |
| 100 % C. C.             | 225                      | 230                 | 122     | 110            |
| 75 % C. C.              | 245                      | 160                 | 118     | 60             |
| 50 % C. C.              | 110                      | 90                  | 85      | 30             |
| 25 % C. C.              | 60                       | 50                  | 40      | 20             |

Fuente: Cruz, R. 1990. El coquito (*Cyperus rotundus* L.), biología y control.

## MÉTODOS DE CONTROL UTILIZADOS CONTRA EL COYOLILLO

### **Control manual:**

Limitado a las áreas pequeñas o a la línea del surco en cultivos mecanizados, pero ineficiente por la rápida recuperación de la maleza. Para poder controlar en totalidad, debe de roturarse y extraer la totalidad de estructuras reproductivas (tubérculos, rizomas, etc.), lo cual lo hace difícil e incrementa los costos a tasas que lo dejan fuera del alcance de cualquier presupuesto.

### **Control mecánico.**

Favorece la propagación y diseminación. Este control está limitado al espacio entre los surcos de los cultivos. Ineficiente por la razón expuesta al inicio de favorecer la reproducción al romperse la dominancia apical y estimular el rebrote de todos los tubérculos que se encontraban en latencia. Es decir que al cortar la parte aérea de la planta con un machete o azadón, o con una cultivadora, solamente se estimula la reproducción del coyolillo, de una forma exponencial.

### **Control químico:**

**Herbicidas pre-siembra incorporados (HPSI) y Herbicidas pre-emergentes (HPE):**

El grupo químico de los tiocarbamatos ha demostrado control efectivo del coyolillo, actúan solo como inhibidores de la brotación de tubérculos o sea que su efectividad depende de la

residualidad en el suelo y el éxito en colocar el producto en contacto con los tubérculos. Controlan por un periodo de 30 o 40 días después de aplicados. El EPTC (Eptam) debe ser aplicado con antídoto en maíz (*Zea mays*) para evitar fitotoxicidad. El vernolate (Vernam) se recomienda en soya (*Soja max*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*). El bromacil (Hyvar-X) es un herbicida preemergente no selectivo que a dosis altas se recomienda como esterilizante del suelo en áreas no agrícolas, controla efectivamente el coyolillo, con selectividad marginal a cultivos como la piña (*Ananas comosus*).

### Herbicidas post-emergentes:

El 2,4-D (Hedonal), picloram (Tordón, Kuron M) y dicamba (Banvel, Weedmaster) han demostrado actividad limitada sobre el coyolillo y otras malezas de la familia *Cyperaceae*, con selectividad a cultivos de cereales cuando se aplican en la época apropiada y dosis recomendada, pero su translocación a lo largo de la cadena de tubérculos es restringida. El 2,4-D se transloca en la planta hasta el bulbo basal.

El glifosato (Roundup, Roundup Max, Ranger, Rival, Faena, Láti-go) ha demostrado buena efectividad en el control de las estructuras subterráneas de reproducción vegetativa, debido a su gran capacidad de translocación y elevada actividad herbicida. El glifosato es un producto sistémico, no selectivo, que interviene la síntesis de aminoácidos aromáticos (fenilalanina y tirosina), de acuerdo con clasificación toxicológica se ubica en el grupo IV (banda verde).

La dosis utilizada de dicho herbicida es de 1.5 Kg de ingrediente activo/ha (4.2 l/ha de Roundup), que resulta efectiva para el con-

trol de la parte aérea y subterránea. La absorción del herbicida a través de la cutícula es más eficiente en la etapa de desarrollo vegetativo, en plantas florecidas la absorción es menor debido a mayor espesor de la cutícula. Para la absorción en plantas en crecimiento activo son necesarias alrededor de 6 horas, mientras que en plantas en floración se requieren alrededor de 12 horas, debido al espesor de la cutícula y a la menor hidratación de la misma. Aunque se duplique la dosis de glifosato a 3 kg/ha, la absorción solo se incrementa en plantas en etapa de desarrollo.

Aunque el glifosato es uno de los herbicidas fácilmente translocados dentro de la planta, debe hacerse énfasis en que durante el estado vegetativo los productos sintetizados se utilizan para el crecimiento del tallo, hojas y raíces; mientras que en la etapa de floración, el crecimiento vegetativo es limitado y la mayor parte de los azúcares y otros metabolitos son trasladados hacia los tubérculos en desarrollo. Por esta razón, las aplicaciones en el estado de desarrollo vegetativo (antes de la floración) son poco efectivas para controlar los tubérculos. En este estado la mayor parte de los productos sintetizados se mueven hacia los sitios de consumo para la producción de hojas, inflorescencia y frutos. Además, la sombra retrasa ligeramente el control de la parte aérea, pero no afecta la translocación a los tubérculos. La efectividad de la translocación a largo plazo fue igual a pleno sol que bajo sombras de hasta el 90 %, aunque la aparición de los síntomas de daño en el follaje es más lenta, debido a que la tasa fotosintética y el metabolismo son menores bajo dichas condiciones.

El halosulfurón metil (Sempra 75 WG, Permit) es un herbicida del grupo de las sulfonilureas, inhibidor de la síntesis de aminoácidos ramificados (valina, isoleucina y leucina) que tiene acción preemergente y postemergente, formulado como gránulos

dispersables en agua, toxicológicamente se encuentra ubicado entre los plaguicidas ligeramente peligrosos, grupo III (banda azul). Este herbicida penetra a través del follaje en plantas en crecimiento activo, cuando se aplica en postemergencia y pasa al floema, para ser transportado basipetalmente a los meristemas o tejidos en crecimiento.

En aplicaciones preemergentes a las malezas, el herbicida se aplica al suelo y se absorbe a través de la radícula y el epicotilo de las plántulas en proceso de germinación, aplicado en ésta época, controla algunas malezas de hoja ancha como (*Bidens pilosa*), (*Tithonia rotundifolia*), (*Melampodium perfoliatum*), (*Boerhavia erecta*), (*Portulaca oleracea*) (*Phyllanthus niruri*), (*Euphorbia hirta*), (*Ipomoea* sp.) y (*Amaranthus* sp.). La penetración por las raíces es más eficiente que por el epicotilo. Las malezas de hoja ancha de semilla grande emergen del suelo y abren sus cotiledones antes de morir. La acción del halosulfurón metil por vía foliar o radicular requiere de crecimiento activo para maximizar su efecto. Este producto no inhibe la germinación de las semillas.

En la actualidad, este herbicida ha resultado ser una de las opciones más eficientes para el control del coyolillo, debido a su especificidad y selectividad para cultivos de hoja ancha y gramíneas como el frijol (*Phaseolus vulgaris*), trigo (*Triticum vulgare*), sorgo (*Sorghum vulgare*), maíz (*Zea mays*), zanahoria (*Daucus carota*), lechuga (*Lactuca sativa*), jicama (*Pachyrhizus* sp.), arveja china (*Pisum sativum*), tomate (*Lycopersicum sculentum*).

Actualmente en los campos del Centro Experimental Docente de Agronomía (CEDA), situados en la Facultad de Agronomía de la

Universidad de San Carlos de Guatemala, se están llevando a cabo ensayos con todos los cultivos mencionados, debido a que en dicha área el coyolillo es una de las malezas de mayor importancia. A escala preliminar, se ha determinado el excelente control del coyolillo y la alta selectividad a los cultivos en que se han hecho las aplicaciones respectivas a una dosis en postemergencia de 143 g/ha.

En el curso de Control de Malezas y en el Módulo de Producción de Granos Básicos se tiene contemplado el seguir aplicando halosulfurón metil (Sembra) y llevar a cabo observaciones que nos conduzcan a controlar el coyolillo, en virtud de ser una maleza que más daño provoca a la agricultura nacional.

### Bibliografía

1. CRUZ, R. 1990. El coquito (*Cyperus rotundus* L.) biología y control. Cali, Colombia. Monsanto Colombiana, Departamento técnico. 19 p.
2. MONSANTO, GUA. 1998. El control del "coyolillo" (*Cyperus rotundus* L.). Guatemala, C.A. 4 p.
3. \_\_\_\_\_. 1998. Sembra 75 WG. Guatemala, C.A. 2 p.
4. \_\_\_\_\_. 1991. Roundup 360 SL. Guatemala, C.A. 2 p.
5. SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DE LA MALEZA. 1986. Manual de herbicidas. México, D.F. 142 p.

## ORIGEN, ESTABLECIMIENTO Y PROPAGACIÓN DE LAS PLANTAS INDESEABLES

*Manuel de J. Martínez Ovalle\**



Se han logrado trazar ciertas teorías sobre que las plantas indeseables o malezas se originan, inicialmente, en ambientes disturbados por fenómenos naturales, que causan trastornos en los ecosistemas que en ese momento se encuentran en equilibrio. Tales fenómenos pueden incluir grandes heladas, deshielos, desmoronamiento de montañas, crecidas de ríos o salida de los mares.

En el sentido estricto del concepto de planta indeseable o maleza, esta inicia su surgimiento cuando el hombre inventa la agricultura representada por la domesticación de plantas, separando y diferenciando claramente las plantas benéficas (denominadas plantas cultivadas) de las maléficas (denominadas plantas indeseables o malezas). Las malezas se encontraron y se han adap-

tado desde entonces a los ambientes donde se establece el hombre mismo, porque él es el que proporciona el ambiente favorable para ellas. Es más, hay muchos autores que piensan que el hombre es el responsable de la evolución de las malezas, así como lo es también de las plantas cultivadas. La agricultura en sí, es definida hoy en día no solamente como el cultivo del campo o la domesticación de plantas benéficas, sino también como la lucha contra las plantas indeseadas o malas hierbas.

## RELACIÓN MALEZAS-CULTIVO

### AGRICULTURA

**Interferencia = Competencia + Alelopatía = Malherbosidad**

Dentro de este contexto, es imperativo tratar de deducir y establecer cómo es que estas plantas se desarrollan y llegan a convertirse en malezas, es decir cómo es que se desarrolla en ellas este grado de malherbosidad, para lo cual es de mucha ayuda traer a colación el concepto de maleza con enfoque ecológico-económico que establece que "**maleza** es una planta que origina da bajo un ambiente natural y, en respuesta a factores naturales e impuestos, evolucionó y continúa haciéndolo como un socio interferente de nuestros cultivos y actividades". Es decir, las malezas surgen en el preciso momento en que hay una alteración de los ecosistemas para dar paso a la agricultura. En concreto, mientras no hay agricultura no hay malezas, pero si existe vegetación, las cuales entran en existencia en el mismo momento en que el hombre domestica plantas o sea inventa la agricultura.

Ahora bien, es oportuno plantear un cuestionamiento de cómo es que las malezas han llegado a ocupar diversos ambientes donde se realiza la agricultura, para lo cual debe inicialmente revisarse

los diversos medios que han adoptado para **reproducirse y dispersarse**. Varias son las formas de reproducción por medio de las cuales las plantas en general pueden propagarse, para perpetuar la especie, ya sea por la vía sexual o por la vía asexual o vegetativa. Esta última es un mecanismo de supervivencia de gran importancia en las malezas perennes. Los medios de propagación vegetativa incluyen rizomas, cormos, tubérculos, bulbos, estolones, etc., que presentan dos características resaltantes, dormancia y reservas alimenticias.

## REPRODUCCIÓN DE LAS MALEZAS

- **REPRODUCCIÓN SEXUAL:**
  - ANUALES
  - PERENNES
- **REPRODUCCIÓN VEGETATIVA:**
  - ESTOLONES
  - RIZOMAS
  - TUBÉRCULOS
  - BULBOS
  - CORMOS

Por otro lado, en cuanto a la reproducción sexual, las malezas normalmente producen muchas semillas, lo que asegura un alto índice de dispersión y su adaptación como entes infestantes de los campos cultivados.

Desde el punto de vista morfo-fisiológico la adaptación y el establecimiento involucra una serie de procesos biológicamente sincronizados que incluyen la germinación de la semilla, el crecimiento y el desarrollo de la planta que son grandemente influenciados por aspectos morfogénicos y edafoclimáticos. La **germi-**

**nación** de la semilla es la reactivación de los puntos de crecimiento del embrión que había sido paralizado en las etapas finales de la maduración morfofisiológica de la semilla, y que incluye tres etapas fundamentales:

1. La absorción de agua (o imbibición).
2. El alargamiento o elongación de las células.
3. La división celular.

Asimismo, considerando el enfoque físico-bioquímico, el proceso de la germinación comprende los aspectos de rehidratación (absorción de agua), aumento de la actividad respiratoria, formación de enzimas y activación de las preexistentes, digestión enzimática de las reservas, movilización y transporte de productos provenientes de las reservas, asimilación metabólica y finalmente desarrollo de la plántula.

Resumidamente, la germinación puede conceptualizarse como una serie de eventos sucesivos trazados en las cuatro etapas siguientes:

1. Germinación propiamente dicha, o sea el crecimiento perceptible del embrión.
2. Alargamiento subterráneo de la parte aérea.
3. Emergencia de la parte aérea, que puede ser del tipo epigeo o hipogeo.
4. Crecimiento independiente, por medio de la fotosíntesis, que es en sí el final de la germinación.

## FASES EN LA GERMINACIÓN DE LAS SEMILLAS Y DESARROLLO DE PLÁNTULA

- Germinación
- Crecimiento o alargamiento subterráneo
- Emergencia del suelo, epigea o hipogea
- Crecimiento independiente o autótrofo



El estudio del proceso germinativo de las semillas es de suma importancia para quien trabaja en programas de control de malezas, ya que la semilla representa una de las vías de entrada de los herbicidas y está biológicamente asociada con otras estructuras fundamentales para ello mismo, como lo son la plántula, el epicotilo, hipocotilo, coleoptilo y la radícula, además de que el mecanismo de acción de muchos herbicidas está asociado a fenómenos que ocurren en algunas de estas estructuras, impidiendo que las plantas indeseables se establezcan.

Las semillas generalmente son de estructura y organización bastante compleja, presentando una parte vital denominada embrión con envoltorios protectores, denominados tegumentos y tejidos nutritivos o de reserva como el endospermo y la aleurona que almacena proteínas.

Normalmente, cualquier semilla que no esté en estado de dormancia o latencia entrará de inmediato en el proceso de germinación. Ahora bien, la latencia se ha desarrollado en prácticamente todas las semillas de malezas y que evolucionó como un meca-

nismo de supervivencia de las especies sometidas a condiciones especiales de clima y de manejo.

## **LATENCIA O DORMANCIA:**

Es un estado o condición en que las semillas no germinan, sino que permanecen en reposo, pero lo hacen al romperse este estado. Se han diferenciado claramente tres tipos de dormancia:

- **Genética o Innata:** Que es aquel estado en que las semillas no germinan debido a que existen mecanismos intrínsecos de las mismas que no se lo permiten, pero que al eliminarlos entonces inician el proceso germinativo. Como ejemplo de esto tenemos: embriones rudimentarios o inmaduros, tegumento restrictivo al agua y la presencia de inhibidores. Algunos ejemplos de esta los encontramos en las semillas de *Solanum spp.* y en la bien conocida pero poco entendida *Rottboellia cochinchinensis*.
- **Inducida:** Que es el estado en que las semillas no germinan debido a que algún factor a que son expuestas impone en ellas algún mecanismo que las induce al reposo y que se mantiene aún después de cesar dicha exposición. Un caso de ésta lo tenemos en la inducción a la dormancia en ciertas semillas cuando se exponen al  $\text{CO}_2$ , por ejemplo cuando son enterradas por las labores de preparación y después son traídas nuevamente a la superficie lo que las induce a no germinar durante cierto tiempo aún cuando ya el  $\text{CO}_2$  no esté presente.
- **Forzada:** Esta es el tipo de latencia más común en las semillas de malezas y se define como aquel estado en que las semillas no germinan debido a que las condiciones ambientales

no les son adecuadas. Dentro de estas condiciones ambientales que provocan la latencia forzada en la mayoría de semillas de malezas se pueden resaltar cuatro como vitales, que son: la humedad del suelo, la temperatura, el oxígeno y la luz presentes en el mismo. El simple hecho de disturbar el suelo, drenar áreas encharcadas o irrigar suelos secos, puede romper su estado de latencia y estimular la germinación de las semillas que se encontraban en reposo.

## TIPOS DE LATENCIA O DORMANCIA DE LAS SEMILLAS

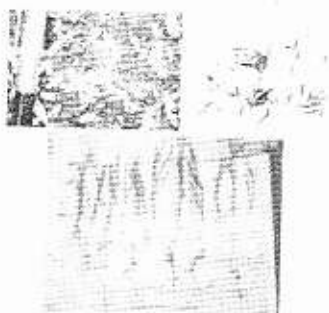
- Genética o Innata
- Inducida
- Forzada

Humedad

Temperatura

Oxígeno (aire)

Luz



Entonces, en la práctica casi la totalidad de las semillas de malezas que se encuentren en un campo destinado a la agricultura, en un momento determinado, entrarán en el proceso de germinación si las condiciones ambientales son favorables, en otras palabras siempre que haya un suplemento hídrico adecuado, una franja de temperatura ideal, presencia de oxígeno y luz.

## DISPERSIÓN DE LAS MALEZAS

Para ocupar los diversos ambientes en los que se realiza la agricultura, las malezas han tenido que desplazarse cortas o largas distancias, desde sus ambientes de origen implicando para ello distintos medios o mecanismos de dispersión tanto naturales como aquellos asociados a las actividades agropecuarias.

- DISPERSIÓN NATURAL
- DISPERSIÓN POR ACTIVIDADES AGROPECUARIAS

### Dispersión natural:

Esta ha involucrado a agentes del ambiente como también a agentes biológicos. Entre los agentes ambientales es de resaltar la acción dispersante de las malezas que han jugado el viento y el agua, que se refleja en la movilización que han tenido especies de la familia de las gramíneas y de las compuestas. Por otro lado, los agentes biológicos de mayor trascendencia en la dispersión de las malezas incluyen a los pájaros y otros animales salvajes que han contribuido a dispersar especies indeseables como los muérdagos (*Phoradendron spp.*)

### Dispersión por medio de las actividades agropecuarias:

En este aspecto es donde se considera el mayor impacto que el ser humano ha tenido en la transformación del mundo que le rodea, que sin embargo, se ve justificado por la imperiosa obligación de satisfacer sus necesidades, lo que condujo al invento de la domesticación de plantas o agricultura, según se señalara anteriormente. Es así como las plantas indeseables encontraron ambientes propicios para su emigración y posterior adaptación llegando a convertirse en componentes obligados de los agrosistemas, para lo cual usaron los mismos medios o actividades que se realizan para llevar a cabo el cultivo del campo. En este sentido, se pueden resumir las principales actividades agropecuarias mediante las cuales las malezas se han dispersado, estando las siguientes:

—Contaminantes de semillas de cultivos: Tal el caso de *Rottboellia cochinchinensis* y *Sorghum halepense*. La *R. cochinchinensis*

- nensis* se cree que entró a Guatemala como contaminante de semilla de arroz, proveniente de las Filipinas y el *S. halepense* ingresó como contaminante de semilla de sorgo.
- En materiales pecuarios como ensilaje, heno, desechos de establos: Como ejemplo muchas malezas que se dispersan en campos agrícolas pensando en agricultura orgánica.
  - Mecanización: Que ha servido como medio dispersante principalmente a nivel local o regional como ha sido el caso de la *R. cochinchinensis*, *Phyllodendron* sp., *Cynodon dactylon*, *Cyperus rotundus* y otras, cuyas estructuras de reproducción sexual (semillas) o vegetativa (estolones, rizomas, bulbos y otros) se adhieren fácilmente a los instrumentos de labranza y son transportados de terreno en terreno infestando nuestros campos cultivados, contando con nuestra participación al no entrar en procesos de control preventivo.
  - Riego: Principalmente los sistemas de riego por gravedad y aún aquellos por aspersión donde la fuente del agua proviene de áreas infestadas por especies de malezas que cuentan con estructuras fácilmente transportadas por el agua y donde no existen los mínimos procedimientos de cuarentena. Este ha sido el caso de especies como la *R. cochinchinensis* y el *Ixophorus unisetus* que ha invadido muchos terrenos cultivados que se riegan especialmente por gravedad.
  - Pastoreo: Una práctica común en potreros abiertos donde no hay ningún control en el desplazamiento del ganado y que ha contribuido a dispersar especies de malezas como *Sida* spp. y *Mimosa* spp.
  - Movimiento de masas de suelo: Una práctica que se ha acostumbrado tendiente a mejorar las características de suelos margina-

les para la agricultura, pero que al aportarles suelo traído de áreas con problemas de malezas ha contribuido al establecimiento de las mismas en áreas donde anteriormente no existían. Esto ha ocurrido con especies como *C. rotundus* y *C. dactylon*.

- Introducción deliberada: Acción provocada cuando se transporta material vegetal, intencionalmente, de un lado hacia otro donde no existía y, posteriormente, se abandona donde encuentra condiciones para su reproducción. Este ha sido el caso de *Opuntia sp.* que fue introducida deliberadamente a Australia como una planta ornamental, pero por falta de cuidado se desechó en lugares donde llegó a proliferar convirtiéndose en una de las peores malezas de aquel continente. También esta como ejemplo el caso de *C. rotundus* que fue introducido deliberadamente al continente americano con la intención de industrialización pero que, al fallar el proceso, fue abandonada y desechada convirtiéndose en una de las malezas más importantes en nuestro continente.

**En conclusión,** las plantas que verdaderamente se establecen como indeseables o “malas hierbas” presentan características que permiten designarlas como dañinas o perjudiciales. Son plantas que presentan, en general, elevada capacidad de competencia y atributos específicos que aseguran la perpetuación de la especie, tal como la dormancia de la semilla, germinación dispereja y, algunas de ellas, de hábito perenne, multiplicándose de distinta manera, tal el caso del *Cyperus rotundus*. Sin embargo, conociendo sus rasgos biológicos y fisiológicos nos permitirá hacer el mejor enfoque posible para su manejo dentro de nuestros campos cultivados, seleccionando las mejores opciones para su control y, por lo tanto, para optimizar la rentabilidad de nuestra actividad agrícola, sea ésta cañera u otra en particular.

---

\*Ing. Agr., M. Sc. Profesor Facultad de Agronomía, USAC, Guatemala.  
Asesor en Fisiología Vegetal y Manejo de Malezas.

## LOS AUTORES

- ***África Ixmucané Flores C.***

Ingeniera Agrónoma en Recursos Naturales Renovables. Autora de la tesis de grado.

- ***Pedro Peláez***

Ingeniero Agrónomo, M.Sc. Profesor investigador de la FAUSAC y asesor de la tesis.

- ***José Mario Saravia***

Ingeniero Forestal, M.Sc. Profesor investigador de la FAUSAC y asesor de la tesis.

- ***Edwin Cano***

Ingeniero Agrónomo, M.Sc. Profesor investigador de la FAUSAC y asesor de la tesis.

- ***Eddi Alejandro Vanegas Chacón***

Dr. En Nutrición Vegetal. Profesor investigador de la FAUSAC.

- ***Armando Cáceres***

Licenciado Químico Biólogo. Profesor de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la USAC.

- ***Vicente Martínez***

Ingeniero Agrónomo, M.Sc. Profesor investigador de la FAUSAC. Asesor de cultivo de plantas medicinales.

- ***Ana Margarita Paz***

Licenciada Química Bióloga. Profesora de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

- ***Amarillis Saravia***

Dra. Química Farmacéutica. Profesora de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la USAC.

- ***Mario Véliz***

Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables. Profesor investigador y coordinador del Herbario de la Escuela de Biología BIGU.

- ***Isabel Gaitán***

Licenciada Química Bióloga. Profesora de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

- ***Sully M. Cruz***

Licenciada Química Farmacéutica. Profesora de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

- ***Haydeé Ortiz Beteta***

Licenciada Química Bióloga. Auxiliar de investigación del Laboratorio de Bioensayos. Proyecto DIGI.

- ***Claudia Mariela Teleguario***

Licenciada Química Farmacéutica. Auxiliar de investigación de LIPRONAT. Proyecto DIGI.

- ***Miguel Ángel Chigüichón***

Ingeniero Agrónomo. Auxiliar de investigación de la FAUSAC. Proyecto DIGI.

- ***Ramiro Arnoldo López Pineda***

Ingeniero Agrónomo, M.Sc. Profesor investigador de la FAUSAC.

- ***Manuel de J. Martínez***

Ingeniero Agrónomo, M.Sc. Profesor investigador de la FAUSAC. Asesor en Fisiología Vegetal y Manejo de Malezas.

Revista **tikal** se terminó de  
imprimir en el mes de mayo del 2007,  
en los talleres de Editora Arizandieta,  
con una tirada de 500 ejemplares en  
papel bond beige de 80 gramos.

## ¿Por qué el nombre tikalia?

El nombre de esta revista dedicada a la ciencia y la tecnología agrícola se debe a que Tikal fue un centro clásico de la antigua cultura maya, establecida otrora sobre una base constituida por la producción agrícola.

Las evidencias obtenidas por diversos mayistas muestran que en los asentamientos iniciales de aquel pueblo, las tierras bajas de lo que ahora es Petén, se desarrollaron sistemas de producción agrícola basados en el maíz (*zea mays* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), piloy (*Phaseolus coccineus*), y otras especies cultivadas y forestales.

Se ha estimado que en el período clásico Tikal llegó a tener una población de 50 mil a 70 mil habitantes, dentro de un radio de seis kilómetros al derredor de la ciudad, o sea una área aproximada de 120 kms<sup>2</sup>. Una densidad poblacional de tal magnitud requería sustentarse en sistemas de producción agrícola sumamente intensivos, los cuales incluyeron una infraestructura especializada, constituida por terrazas, riego y drenajes. Como consecuencia de lo anterior, se dice que la agricultura y el manejo de los Recursos Naturales Renovables de aquella zona alcanzaron un alto grado de desarrollo.

Por haber sido Tikal un sitio histórico-geográfico privilegiado durante el florecimiento maya, y por estar actualmente la Facultad de Agronomía orientada al estudio y manejo de los Sistemas de Producción Agrícola y de los Recursos Naturales Renovables—actividades primigeniamente conocidas por los mayas— es que esta revista, dedicada a difundir la ciencia y la tecnología, ha sido denominada con el nombre de Tikalia.



## **AUTORES:**

*África Ixmucané Flores C.,  
Pedro Peláez, José Mario Saravia,  
Edwin Cano.*

*Eddi Alejandro Vanegas Chacón.*

*Armando Cáceres, Vicente Martínez,  
Ana Margarita Paz, Mario Véliz,  
Amarillis Saravia, Isabel Cristina  
Gaitán, Sully Margot Cruz, Gandy  
Haydeé Ortiz, Claudia Mariela  
Teleguano, Miguel Ángel Chigüichón.*

*Ramiro Arnaldo López Pineda,  
Manuel de J. Martínez Ovalle.*

## **EDICIÓN:**

**Dennis Escobar Galicia**

## **DISEÑO:**

**Hernán Guerra**



## CONTENIDO

- 7 Distribución del volumen por producto de *Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis y *Tectona grandis* L. f. en plantaciones forestales de 5 y 6 años, establecidas a través del Programa de Incentivos Forestales — PINFOR—, en el Depto. de Izabal.

*África Ixmucané Flores C., Pedro Peláez, José Mario Saravia, Edwin Cano.*

- 37 Descomposición de residuos agroindustriales y urbanos con fines de fertilización.

*Eddi Alejandro Vanegas Chacón.*

- 55 Determinación fitoquímica y de actividad antifúngica de cultivares de *Solanum americanum* Miller y caracterización de preparación para la industria fitofarmacéutica.

*Armando Cáceres, Vicente Martínez, Ana Margarita Paz, Mario Véliz, Amarillis Saravia, Isabel Cristina Gaitán, Sully Margot Cruz, Gaudy Haydeé Ortiz, Claudia Mariela Teleguario, Miguel Ángel Chigüichón.*

- 75 Biología y control del coyolillo.

*Ramiro Arnoldo López Pineda, Manuel de J. Martínez Ovalle.*

- 89 Origen, establecimiento y propagación de las plantas indeseables.

*Manuel de J. Martínez Ovalle.*