



TATASCAN

REVISTA TECNICA CIENTIFICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CIENCIAS FORESTALES

Editor: César Alvarado

ISSN 2219-1143



- 1** ESTUDIO COMPARATIVO DEL CONTENIDO QUIMICO Y SU EFECTO CORROSIVO EN ACTIVIDADES ENERGETICAS CON LA BIOMASA DE 3 ESPECIES AGRICOLAS Y 3 ESPECIES FORESTALES
Jason Ely Gómez Anariba, Cesar Alvarado y Kevin Cruz
- 2** CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DEL PÉLET OBTENIDO DE LA COMBINACIÓN DE LAS ESPECIES *Hibiscus sabdariffa* y *Arundo donax*
Navil Julissa Méndez Santos, César A. Alvarado y Dani O. Ochoa
- 3** INFLUENCIA DE LAS RAÍCES DE PINO EN LA ZONA DE RIZOSFERA Y A LOS SUELOS NO RIZOSFÉRICOS (BAJO BOSQUE DE REGENERACIÓN) EN EL SECTOR I DEL BOSQUE UNACIFOR, SIGUATEPEQUE, HONDURAS
Oscar Orlando Castellon Leiva, Allan Carlos Bendeck Gabrie y Eli Vicente Raudales Garcia
- 4** DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DE TRES VARIETADES DE PULPA Y CASULLA DE *Coffea arabica* PARA LA ELABORACIÓN DE PÉLETS EN EL MUNICIPIO DE SIGUATEPEQUE
Mónica Jeaneth Álvarez Aguilar, Tomás Mendoza y Rubén Suazo
- 5** PROPUESTA METODOLOGICA PARA CONTRIBUIR A LA TOMA DE DECISIONES EN LA REDUCCION DE LOS GEI's Y RESTAURACION DE AREAS FRAGILES A DESLIZAMIENTOS
César Augusto Alvarado Borjas
- 6** CARACTERIZACIÓN DE COMBUSTIBLES FORESTALES EN EL BOSQUE UNIVERSITARIO UTILIZANDO LA METODOLOGIA DE SCOTT Y BURGAN
Alex Humberto Méndez Cáceres, Marlon Marcio Medrano y Ricardo Lezama
- 7** PRACTICAS DE ADAPTACION AL CAMBIO CLIMATICO EN SISTEMAS PRODUCTIVOS DE CAFÉ EN TERRITORIOS DE FORESTERIA COMUNITARIA
Henry Francisco Mencía Anariba, y Juan Rafael López Dubón

Volumen 29, N°. 2
Noviembre, 2021

IN ARBORE VITA HOMINUM EST

La Universidad Nacional de Ciencias Forestales (UNACIFOR) fue fundada en 1969 como resultado de la firma de un convenio tripartito entre el gobierno de Honduras, el PNUD y la FAO.

A través de su historia, la (UNACIFOR) ha experimentado cambios que la han mantenido a la vanguardia en el sector forestal. A partir de 1994 funciona como una entidad descentralizada del Estado. Está ubicada en la ciudad de Siguatepeque, meseta central de Honduras, equidistante a las dos ciudades más importantes del país, Tegucigalpa, a la ciudad capital y San Pedro Sula, la ciudad industrial

MISION

Formar recursos humanos altamente calificados para la preservación y manejo sostenible de los ecosistemas forestales de Honduras y Latinoamérica; desarrollando de manera eficiente los programas de Enseñanza, Investigación, Capacitación, Extensión, Jardín Botánico y Estación Experimental de Lancetilla y la producción de bienes y servicios.

Son sus objetivos:

- Servir como centro de formación de personal forestal especializado que contribuya a lograr el uso múltiple y sostenido de los recursos forestales del país y la región, en beneficio de toda la sociedad.
- Desarrollar los programas de educación y formación de profesionales forestales de nivel técnico superior.
- Desarrollar programas de capacitación destinados a calificar la mano de obra forestal que requiere el país y la región;
- Realizar trabajos de investigación forestal aplicada en los programas de formación y capacitación, que contribuyan a la solución de la problemática forestal prioritaria a nivel nacional o regional;
- Desarrollar su actividad orientado y apoyando a la Administración Forestal del Estado, Municipalidades, Sector Privado y a la comunidad en general, en programas de extensión y de transferencia tecnológica como complemento al proceso educativo, y;
- Buscar soluciones a problemas prioritarios de producción forestal, ecología y medio ambiente, conservación, forestería social, comercialización e industrialización de los recursos derivados del bosque, a través de la realización de investigación forestal aplicada y transferencia tecnológica.

TATASCAN

Volumen 29, N°. 2

Noviembre, 2021

Revista técnico-científica de las ciencias forestales y afines, publicada por la Universidad Nacional de Ciencias Forestales (UNACIFOR)

La identificación de esta revista con el nombre de TATASCAN, hace referencia a un árbol común, de múltiples usos y de amplia distribución en Honduras, Guatemala y El Salvador.

FAMILIA:

COMPOSITAE

NOMBRE CIENTIFICO:

Perymenium strigillosum

(Robins & Greenm)

NOMBRE COMUN:

Tatascán

Es un árbol que puede alcanzar hasta 20 m de altura y 40 cm de diámetro. Crece en bosques húmedos subtropicales, entre los 900 y 2000 m.s.n.m. Se le considera una madera durable, pesada y de alta resistencia al ataque de insectos. El fuste se utiliza como poste de cerca por su larga duración y además se utiliza en construcciones rurales, carpintería en general, artesanías, herramientas manuales y decoración de interiores y exteriores.

TATASCAN is a common tree of multiple uses and wide distribution in Honduras, Guatemala and El Salvador.

FAMILY:

COMPOSITAE

SCIENTIFIC NAME:

Perymenium strigillosum

(Robins & Greenm)

COMMON NAME:

Tatascán

This tree easily can reach up to 20 meters in height and 40 cm in diameter. It grows in subtropical humid forest, from 900 to 2000 meters above sea level.

The wood is of high resistance to insects' attacks and is widely used as fence poles in rural constructions, handcrafting and interior decorations.



AUTORIDADES ACADEMICAS UNIVERSITARIAS

Dr. Emilio Esbeih Castellanos
MSc. Miguel Ángel Velásquez
MSc. Elda Ninoska Fajardo
MSc. Karla Leticia Pineda
Ab. Flor de Maía Batres

Rector
Vicerrector Académico
Vicerrectora de Investigación
Vicerrectora Administrativa
Secretaría General

CORRESPONDENCIA Y CANJE

Biblioteca “Marco A. Flores Rodas”
Apartado Postal N°2, Siguatepeque
Comayagua, Honduras
Tel. 27202300 Extensiones: 212 / 213 / 214
Correo electrónico: biblioteca2018@unacifor.edu.hn

2021

www.unacifor.edu.hn

Vicerrectoría de Investigación



Existen normas que protegen el medio ambiente y esfuerzos de la sociedad para mejorar nuestro entorno. El problema radica en la falta de aplicación y vigilancia. Tal parece ser el principal problema, dejar de crear dependencias y ponernos a cuidar el ambiente, propiciar una sociedad sustentable con una mejor huella ecológica. Los fatalistas creen que a la larga no tenemos solución, tarde o temprano el mundo estará en una crisis ecológica irreversible. Al parecer tienen razón, nuestra labor entonces es coadyuvar para que ese final demore más aún.

Revista de Derechos Humanos y Estudios Sociales (REDHES). 2019

Las opiniones expuestas en los artículos publicados en el “TATASCAN” son responsabilidad de los autores. La mención de productos o casas comerciales en la revista, se incluye como información y no implican recomendación por parte de UNACIFOR.



CONTENIDO

- 1** ESTUDIO COMPARATIVO DEL CONTENIDO QUIMICO Y SU EFECTO CORROSIVO EN ACTIVIDADES ENERGETICAS CON LA BIOMASA DE 3 ESPECIES AGRICOLAS Y 3 ESPECIES FORESTALES 3

- 2** CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DEL PÉLET OBTENIDO DE LA COMBINACIÓN DE LAS ESPECIES *Hibiscus sabdariffa* y *Arundo donax* 21

- 3** INFLUENCIA DE LAS RAÍCES DE PINO EN LA ZONA DE RIZOSFERA Y A LOS SUELOS NO RIZOSFÉRICOS (BAJO BOSQUE DE REGENERACIÓN) EN EL SECTOR I DEL BOSQUE UNACIFOR, SIGUATEPEQUE, HONDURAS 39

- 4** DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DE TRES VARIETADES DE PULPA Y CASULLA DE *Coffea arabica* PARA LA ELABORACIÓN DE PÉLETS EN EL MUNICIPIO DE SIGUATEPEQUE 51

- 5** PROPUESTA METODOLOGICA PARA CONTRIBUIR A LA TOMA DE DECISIONES EN LA REDUCCION DE LOS GEI's Y RESTAURACION DE AREAS FRAGILES A DESLIZAMIENTOS 69

- 6** CARACTERIZACIÓN DE COMBUSTIBLES FORESTALES EN EL BOSQUE UNIVERSITARIO UTILIZANDO LA METODOLOGIA DE SCOTT Y BURGAN 81

- 7** PRACTICAS DE ADAPTACION AL CAMBIO CLIMATICO EN SISTEMAS PRODUCTIVOS DE CAFÉ EN TERRITORIOS DE FORESTERIA COMUNITARIA 97

REVISTA

634.9

T216a

Tatascán / Universidad Nacional de Ciencias Forestales. -- Vol. 1
(1984). -- Siguatepeque, Honduras: UNACIFOR, 1984.
v. : il. ; 26 cm.
Semianual.
ISSN 2219-1143

1. Ciencias forestales - Publicaciones periódicas.
2. Publicaciones periódicas hondureñas.

Correspondencia y Canje

Biblioteca "Marco A. Flores Rodas"
Universidad Nacional de Ciencias Forestales
Apartado Postal No. 2
Siguatepeque, Departamento de Comayagua
HONDURAS, América Central
E-mail: biblioteca2018@unacifor.edu.hn
Teléfono: (504)2720 2300
extensiones 212/213/214

Página web:

Base de datos: <http://orton.catie.ac.cr/articu.htm> ó
buscar en Google: UNACIFOR base de datos
Texto completo: solicítelo al e-mail: esnabibl@yahoo.com



**ESTUDIO COMPARATIVO DEL CONTENIDO
QUIMICO Y SU EFECTO CORROSIVO
EN ACTIVIDADES ENERGETICAS
CON LA BIOMASA DE 3 ESPECIES
AGRICOLAS Y 3 ESPECIES FORESTALES**

1

ESTUDIO COMPARATIVO DEL CONTENIDO QUIMICO Y SU EFECTO CORROSIVO EN ACTIVIDADES ENERGETICAS CON LA BIOMASA DE 3 ESPECIES AGRICOLAS Y 3 ESPECIES FORESTALES

Jason Ely Gómez Anariba^σ
Cesar Alvarado^π
Kevin Cruz^φ

RESUMEN

Es importante tomar en cuenta a la biomasa como un factor relevante para el desarrollo energético sostenible de Honduras; existen muchas fuentes de energía renovable siendo utilizadas actualmente y en las industrias es muy resaltado el uso de la dendroenergía, pero las transformaciones energéticas de la biomasa conllevan una problemática inherente en los combustibles utilizados y a su propia transformación: corrosión y depósitos de ceniza. En este estudio se identifican parámetros para conocer las causas de la corrosión y formación de depósitos en las calderas de vapor. Se presentan datos del contenido químico en especies como el pino, siendo la principal biomasa forestal utilizada en Honduras en los últimos años y las principales biomásas agrícolas utilizadas como el bagazo de caña de azúcar, pasto de king grass y raquis de palma.

Las muestras fueron recolectadas y revisadas en laboratorio de análisis químico para conocer el porcentaje de elementos corrosivos y composición inorgánica de las cenizas que son causantes de estos fenómenos químicos; elementos como el azufre y el cloro producto de procesos termoquímicos producen daños a los metales, otros como la sílice y el potasio afectan la formación de depósitos en las paredes de las calderas, ya que reducen el punto de fusión de las cenizas. Los contenidos químicos de las biomásas fueron comparados y se determinaron las capacidades de cada especie de provocar estos daños a los metales al ser productos de la combustión en altas temperaturas. Se analiza el comportamiento que tienen algunos metales utilizados en las industrias con ácidos producto del azufre y cloro contenido en la biomasa, tanto agrícola como forestal.

Palabras clave: biomasa, corrosión, deposición, contenido químico

^σ Cel: (504) 9466-7687. Jassongomz11@gmail.com

^π Cel: (504) 9923-8897. cesalbo48andrea@gmail.com

^φ Cel: (504) 9846-9721. k.cruz@unacifor.edu.hn

ABSTRACT

It is important to take into account biomass as a relevant factor for sustainable energy development in Honduras; There are many renewable energy sources that are currently used and in the industries the use of wood energy is very prominent, but the energy transformations of biomass entail problems inherent in the fuels used and their own transformation; corrosion and ash deposits. During this investigation, parameters are given to know the causes of corrosion and the formation of deposits in steam boilers. Data are presented on the chemical content in species such as Pine, being the main forest biomass used in Honduras in recent years and the main agricultural biomass used as sugarcane bagasse, king grass and palm rachis.

The samples were collected and reviewed in a chemical analysis laboratory to know the percentage of corrosive elements and inorganic composition of the ashes that are the cause of these chemical phenomena; Elements such as sulfur and chlorine, product of thermochemical processes, damage metals, others such as silica and potassium, such as the formation of deposits on the walls of the boilers, since they reduce the melting point of the ashes. The chemical contents of the biomass were compared and the capacities of each species to cause these damages to the metals were determined as they were products of combustion at high temperatures. The behavior of some metals used in industries with acids produced by sulfur and chlorine contained in both agricultural and forestry biomass was analyzed.

Key words: biomass, corrosion, deposition, chemical content

INTRODUCCIÓN

La generación de energía eléctrica a partir de biomasa se ha convertido en una alternativa con creciente participación en el mundo debido a su carácter renovable (Bayer & Osorio Vélez, 2014).

En el Sistema Energético Nacional, la leña constituye la principal fuente de energía de la población, especialmente en las zonas rurales y áreas periféricas del área urbana, para fines domésticos. Otros usuarios importantes de la leña como fuente de energía son la pequeña y mediana industria, tales como panaderías, ladrilleras, salineras, entre otras (Andino, 2010).

Según (Romanelli & Ruiz, 2015) “La biomasa, tanto agrícola como forestal, supone grandes posibilidades económicas, principalmente en las zonas tropicales y subtropicales, dado que en ellas las condiciones para la producción de vegetales resultan óptimas”. Esto ha provocado el empleo de la biomasa como combustible en las plantas generadoras de energía. Una característica muy importante de la biomasa y que va a ser clave para su desarrollo a escala industrial, es que la fracción inorgánica del combustible causa graves problemas en deposición y corrosión, principalmente en los tubos sobre calentadores (Berlanga & Fernández, 2010).

La presencia de cloro agrava el problema, pues acelera mucho la corrosión de las paredes metálicas de las calderas, lo que en la práctica suele ser la razón última de las paradas planificadas e imprevistas de las plantas de generación de energía eléctrica (extremadamente costosas en tiempo y dinero) (Jiménez, 2012).

MATERIALES Y METODOS

Descripción de área de estudio

Las muestras de biomasa fueron tomadas en diferentes sitios del país: El *Pinus oocarpa* y la *Gmelina arborea* fueron recolectados en el valle de Comayagua, y la muestra de *Eucalyptus camaldulensis* en un rodal de la aldea Potrerillos, en Siguatepeque, Comayagua.

Muchas empresas utilizan la biomasa agrícola como su principal materia prima para el suministro y alimentación a sus calderas de vapor en Honduras, por lo que se recolectaron muestras de biomasa que son muy utilizadas en el sector industrial del país. Las muestras fueron Raquis de palma recolectado en la empresa Palmas Centroamericanas, S.A. de C.V ubicada en El Progreso, Yoro que se dedica al aprovechamiento de la palma africana y utiliza el raquis para generación de energía eléctrica. La muestra de bagazo de caña fue recolectada en la Compañía Azucarera ubicada en Francisco Morazán. También se recolectó pasto de King Grass en fincas de producción agrícola de un productor independiente en Potrerillos, Cortes.

Metodología utilizada en el campo

Las muestras de biomasa de las 3 especies agrícolas y 3 especies forestales fueron analizadas en un laboratorio químico autorizado con la finalidad de poder comparar los porcentajes de elementos químicos contenidos en la fracción inorgánica de la biomasa. En la siguiente tabla se ilustran las especies elegidas para el estudio considerando su uso como materia prima en industrias generadoras de energía eléctrica a base de biomasa como los ingenios azucareros, industrias que aprovechan la palma africana y otras poseen cultivos dendroenergéticos o aprovechan los residuos forestales como materia prima.

Tabla 1. Biomosas tomadas en cuenta para análisis químico

Especies Forestales	Tipo de muestra	Especies Agrícolas	Tipo de muestra
<i>Pinus oocarpa</i>	Fuste	<i>Pennisetum purpureum</i>	Pasto
<i>Gmelina arborea</i>	Fuste	<i>Elaeis guineensis</i>	Raquis
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Fuste	<i>Saccharum officinarum</i>	Bagazo

De cada tipo de biomasa se envió 1 kilogramo al laboratorio químico para los respectivos análisis de contenidos químicos según los requeridos en las Normas.

Se obtuvieron muestras del centro de fuste para las especies forestales, las muestras de raquis de palma y bagazo son únicamente fibras resultantes de la molienda en las fabricas por lo que su muestra es homogénea y para la muestra de king grass se tomaron y pesaron muestras de todas las partes del zacate.

Metodología de laboratorio y oficina

Métodos de análisis químicos

Las muestras de biomasa fueron preparadas y analizadas con diferentes métodos certificados por la “AOAC (Official Methods of Analysis)” (Helrich, 1990).

AOAC International es una asociación sin fines de lucro reconocida a nivel mundial, que se encarga de desarrollar normas de consenso, tanto químicas como microbiológicas que aportan soluciones analíticas para la comunidad científica e industrial. Los métodos de análisis para determinar los porcentajes de los elementos en las biomosas fueron:

Tabla 2. Métodos de análisis en laboratorio químico

Método de análisis	Elemento estudiado
AOAC 6.005	Sílice (SO ₂)
AOAC 928.02	Cloros (Cl)
AOAC 984.13	Nitrógeno (N)
AOAC 965.09	Potasio (K)
AOAC 980.02	Azufre (S)

Composición inorgánica de cenizas

La composición química de las cenizas afecta el punto de fusión, lo que provoca un gran impacto energético.

La reducción del punto de fusión propicia la producción de una capa sólida sobre las paredes de las calderas o las superficies de convección de calor, llamada escoria que puede reducir la transferencia de calor, disminuyendo la eficiencia en la transformación de energía, aumentando los costos de producción, por lo que es necesario conocer las composiciones inorgánicas en las cenizas de las biomásas.

Las biomásas agrícolas y forestales fueron quemadas en combustión directa dejando la fracción inorgánica, conocida como cenizas, para ser analizadas químicamente.

Las muestras de ceniza fueron analizadas también con los diferentes métodos certificados por AOAC. Los métodos de análisis para determinar los porcentajes de los elementos en las biomásas fueron:

Tabla 3. Métodos de análisis en laboratorio químico

Método de análisis	Elemento estudiado
AOAC 6.005	Sílice (SO ₂)
AOAC 928.02	Cloros (Cl)
AOAC 984.13	Nitrógeno (N)
AOAC 965.09	Oxido de potasio (K)
AOAC 980.02	Azufre (S)
AOAC 968.08	Oxido de sodio (KO ₂)

Evaluación de resistencia a la corrosión

Para evaluar el efecto corrosivo generado por los elementos químicos contenidos en la biomasa, fueron tomados en cuenta dos compuestos químicos líquidos corrosivos como el ácido clorhídrico y el ácido sulfúrico que son los equivalentes al cloro y azufre que contiene la biomasa tanto agrícola como

forestal; ambos elementos al oxidarse forman gases corrosivos como el gas Cloruro de hidrogeno y el gas de Dióxido de azufre que perjudican las paredes y otros elementos de las calderas de vapor.

Se realizaron mezclas heterogéneas entre los elementos químicos y algunos metales para evaluar el daño por corrosión y la resistencia que pueden tener los metales a estos químicos. Una muestra de un metal en contacto con diferentes químicos fue utilizada para diagnosticar la reacción que tiene el mismo al entrar en contacto con los químicos. Los metales para considerar fueron: Acero, Aluminio y Cobre, los cuales fueron utilizados como ejemplos de lo que pueden causar los químicos corrosivos en metales utilizados en calderas.

Las pruebas de corrosión de laboratorio son métodos importantes para entender el comportamiento de los metales y aleaciones en diferentes ambientes corrosivos. Muchas teorías de corrosión que existen en la actualidad se han desarrollado a partir de ese tipo de pruebas.

Método de pérdida de peso

El método de pérdida de peso relaciona el daño causado por la corrosión con pérdida de peso en los materiales. Las pruebas de inmersión total que emplean este método consisten en exponer piezas pequeñas de metal en ambientes corrosivos, para determinar la pérdida de peso del material después de las pruebas.

Este método es uno de los más usados en estudios de oxidación y corrosión para determinar el grado de afectación en los metales. Esto se debe a que los resultados obtenidos por este método son considerados confiables, al asemejarse a resultados obtenidos en pruebas de planta, si se controlan las condiciones al realizar las pruebas.

Preparación de la superficie

Cuando se realizan pruebas de corrosión para predecir el comportamiento de un metal con elementos corrosivos, lo deseable es que la superficie de las muestras se asemeje a la de los materiales empleados en los procesos o servicios. Sin embargo, debido a que existen diferentes condiciones en los metales empleados en ingeniería, no sería práctico evaluar cada una de las dichas condiciones. Por ello, el mejor procedimiento en la práctica es elegir una determinada condición de superficie para las muestras que pueda ser reproducida a lo largo de las pruebas

Es recomendable que la superficie de las muestras no presente raspaduras, ya que estos sitios representan puntos de ataque preferencial. Se pueden esperar resultados con mayor uniformidad si se retira una capa significativa de la superficie del metal, con el fin de eliminar las raspaduras o variaciones en las condiciones de la superficie metálica original. Lo anterior se puede lograr mediante tratamiento químico o esmerilado con un paño o papel de lija.

Después de la manufactura de las muestras y el acondicionamiento de estas, es necesario realizar su limpieza antes de ser empleados en las pruebas.

Las muestras fueron desengrasadas para remover cualquier suciedad, aceite o grasa que pueda inferir en las pruebas de corrosión. Esto se logró mediante el pulido con lija, seguido por una limpieza con acetona para desinfectar las muestras antes de las pruebas de inmersión en ácidos.

Las muestras de acero y aluminio fueron cortadas previamente con una pulidora, se necesitaron un total de 24 muestras para cada tipo de material para las pruebas de pérdida de peso.

Las muestras de cobre fueron obtenidas de terminales para instalaciones eléctricas.

Marcado de las muestras para su identificación

Las muestras se identificaron con letras y números, tomando en cuenta lo siguiente:

- Medio ácido al que fueron sometidas
- Metal en inmersión
- Concentración
- Tiempo de inmersión

Volumen de la solución

El volumen empleado de solución a estudiar es un aspecto que se debe considerar al realizar las pruebas de corrosión. Es recomendable que el volumen sea lo suficientemente grande para evitar cambios apreciables de corrosión a causa del agotamiento de los constituyentes corrosivos o a la acumulación de productos de corrosión que pudiera afectar el avance de esta.

La norma ASTM G31-03 recomienda que la relación de volumen de la disolución con el área de exposición de muestras sea de $40 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$.

La duración de una prueba de corrosión está influenciada por la naturaleza de este y su finalidad. Los materiales que experimentan efectos de corrosión importantes no requieren tiempos prolongados para obtener velocidades de corrosión precisas.

Limpieza de las muestras después de las pruebas

Al finalizar las pruebas de corrosión es importante realizar una inspección visual de la apariencia de las muestras.

En las observaciones se deben considerar la formación de los productos de corrosión, así como la deposición de dichos productos en las muestras. Lo anterior, con el fin de evaluar la corrosión localizada, por picaduras o el ataque en celdas de concentración que se puedan presentar en la superficie de los testigos. Realizada la inspección visual, las muestras son sometidas a un procedimiento de limpieza.

Lista de verificación de datos importantes en las pruebas de corrosión

La siguiente lista de verificación corresponde a la información y datos a recabar para realizar las pruebas de corrosión.

- Medios corrosivos y su concentración.
- Volumen de la solución a estudiar.
- Temperatura.
- Aireación.
- Agitación.
- Tipo de equipo utilizado en las pruebas.
- Duración de las pruebas.
- Composición química o nombre comercial de los metales a evaluar.
- Forma y condiciones metalurgias de las muestras de corrosión.
- Numero de testigos de cada material y ubicación.
- Método empleado para la limpieza posterior de las pruebas.
- Pérdida de peso.
- Evaluación del daño por corrosión.
- Velocidad de corrosión de los testigos evaluados.

Base teórica para elegir que químicos utilizar:

“El cloro puede dar lugar a dioxinas y cloro libre, que son nocivos para el medio ambiente. También se puede dar la formación de Cloruro de hidrogeno, que junto al vapor de agua pueden causar la corrosión de materiales de hierro” (Roger, 2017).

Es importante considerar que el Cloruro de hidrogeno es un gas corrosivo; en su forma acuosa se le denomina Ácido clorhídrico.

“El Azufre al oxidarse en la combustión produce Óxidos de azufre, que con el vapor de agua se transforma en Ácido sulfúrico; este acido puede causar corrosiones en materiales de hierro y al propagarse con las emisiones al aire es uno de los causantes de las lluvias acidas” (Huerta, 2012).

Según la teoría, el cloro y el azufre de la biomasa después de varios procesos termoquímicos que se dan dentro de la caldera puede convertirse en ácidos muy corrosivos que atacan las paredes metálicas en su forma gaseosa.

Planteamiento para recolección de datos

- Obtención de muestras de acero, aluminio y cobre para pruebas de inmersión en ácidos corrosivos.
- Los ácidos para el estudio fueron Ácido clorhídrico y Ácido sulfúrico analizando su reacción con los metales en tres concentraciones:
 1. Baja (75% agua destilada – 25 % Acido).
 2. Media (50% agua destilada – 50 % Acido).
 3. Alta (100 % Acido).
- En 4 intervalos de tiempo:
 1. 24 horas
 2. 48 horas
 3. 96 horas
 4. 168 horas

Medios ácidos y concentraciones empleadas en las pruebas de inmersión.

Debido a que las probetas presentan un área promedio de 1,194 mm², se estableció que eran requeridos un mínimo de 279 ml por probeta durante la prueba, por lo que este valor se fijó en 300 ml de solución para llevar a cabo las pruebas de inmersión a cada probeta, de tal modo que se establecieran las concentraciones a emplear según los mililitros necesarios para la inmersión de cada probeta.

A continuación se relacionan los medios ácidos, los valores de pureza en los que se encuentran, así como las disoluciones tomadas para las diferentes concentraciones.

Tabla 4. Concentraciones y cantidades de los medios ácidos empleados

Concentración	Ácidos	
	Sulfúrico	Clorhídrico
Alta	300 ml de ácido	300 ml de ácido
Media	150 ml de ácido/150 ml de agua destilada	150ml de ácido/ 150ml de agua destilada
Baja	75ml de ácido/225 ml de agua destilada	75ml de ácido/225 ml de agua destilada

Tabla 5. Recolección de datos para el acero, aluminio y cobre

Acido	Concentración	Tiempo
Clorhídrico	Alta	24 horas
	Media	48 horas
	Baja	96 horas 168 horas
Sulfúrico	Alta	24 horas
	Media	48 horas
	Baja	96 horas 168 horas

RESULTADOS

Los resultados de los análisis químicos realizados en el laboratorio para los diferentes tipos de biomasa se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6. Análisis composición química biomasa seca

Tipo de biomasa	Azufre S %	Cloro Cl%	Potasio K%	Nitrógeno N %	Sílice SiO ₂
<i>Pinus oocarpa</i>	0.03	0.01	0.09	0.16	2.23
<i>Gmelina arborea</i>	0.03	0.02	0.67	0.38	1.59
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	0.05	0.09	0.18	0.16	1.07
<i>Pennisetum pupureum</i>	0.19	0.53	2.67	1.91	3.22
<i>Elaeis guineensis</i>	0.13	0.27	1.35	0.49	1.37
<i>Saccharum offinarum</i>	0.07	0.005	0.3	0.22	0.8

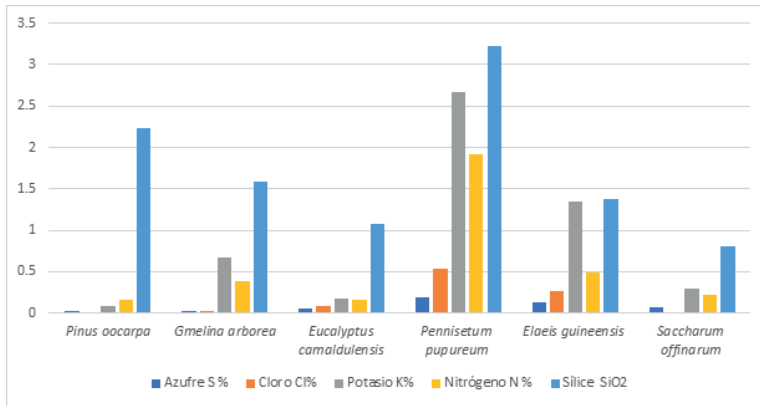


Figura 1. Análisis de composición química de la biomasa seca

En la siguiente tabla se presentan los resultados de los análisis químicos realizados en las cenizas:

Tabla 7. Composición inorgánica de cenizas

Tipos de Biomasa	Azufre	Cloro	Oxido de potasio	Sílice	Oxido de sodio	Nitrógeno
	S %	Cl %	KO ₂ %	SiO ₂ %	NaO ₂ %	N %
<i>Pinus oocarpa</i>	0.04	0.07	7.30	7.83	0.99	0.18
<i>Gmelina arborea</i>	0.01	0.06	6.99	9.51	0.87	0.17
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	0.02	0.55	29.94	4.18	1.98	0.19
<i>Pennisetum pupureum</i>	0.70	0.19	25,05	50,21	0,52	0,93
<i>Elaeis guineensis</i>	0.20	6,74	39,64	32,43	0,55	0,95
<i>Saccharum offinarum</i>	0.0144	0.17	6.54	66.32	0.0097	0.15

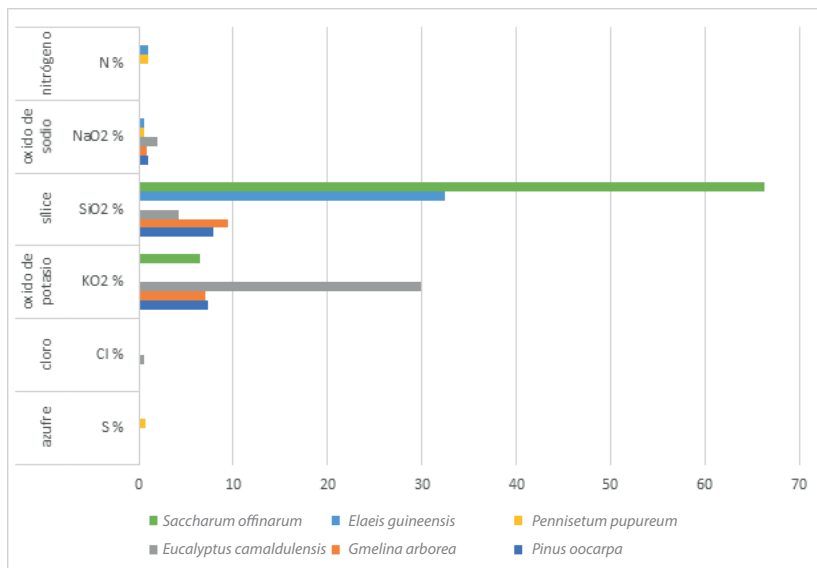


Figura 2. Composición inorgánica de cenizas

Resultados en pruebas de inmersión

Las muestras de acero, aluminio y cobre fueron analizadas en pruebas de inmersión en diferentes intervalos de tiempo y diferentes concentraciones de ácido para posteriormente medir la masa perdida al cumplirse el tiempo seleccionado.

Un total de 24 testigos de acero fueron pesados antes y después de su inmersión en los medios ácidos. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos:

Muestras de acero

Tabla 8. Datos para muestras de acero

Acido	Concentración	Tiempo de inmersión (Horas)	Peso (g)		Masa perdida	Masa perdida
			Inicial	Final	(g)	(%)
Clorhídrico	Alta	24	13.6	2.9	10.7	78.68
		48	13.3	0.7	12.6	94.74
		96	13.0	0.0	13.0	100.00
		168	13.0	0.0	13.0	100.00
	Media	24	13.6	12.3	1.3	9.56
		48	11.6	6.7	4.9	42.24
		96	13.7	7.0	6.7	48.91
		168	12.8	0.0	12.8	100.00
	Baja	24	13.9	13.7	0.2	1.44
		48	12.5	11.8	0.7	5.60
		96	12.6	7.7	4.9	38.89
		168	13.3	7.5	5.8	43.61
Sulfúrico	Alta	24	13	12.9	0.1	0.77
		48	13.4	13.2	0.2	1.49
		96	13.7	13.4	0.3	2.19
		168	13.1	12.6	0.5	3.82
	Media	24	11.6	11.3	0.3	2.59
		48	13.2	9.0	4.2	31.82
		96	13.0	7.9	5.1	39.23
		168	13.0	3.1	9.9	76.15
	Baja	24	13.8	8.5	5.3	38.41
		48	13.6	6.9	6.7	49.26
		96	11.8	3.7	8.1	68.64
		168	12.9	0.0	12.9	100.00

Muestras de aluminio**Tabla 9.** Datos para muestras de aluminio

Acido	Concentración	Tiempo de inmersión (Horas)	Peso (g)		Masa perdida (g)	Masa pérdida (%)
			Inicial	Final		
Clorhídrico	Alta	24	9.0	0.0	9.0	100.00
		48	8.9	0.0	8.9	100.00
		96	8.9	0.0	8.9	100.00
		168	9.2	0	9.2	100.00
	Media	24	8.9	0	8.9	100.00
		48	9.0	0	9.0	100.00
		96	8.8	0	8.8	100.00
		168	8.9	0	8.9	100.00
	Baja	24	9.0	3.3	5.7	63.33
		48	8.9	2.3	6.6	74.16
		96	9.6	0	9.6	100.00
		168	9.1	0	9.1	100.00
Sulfúrico	Alta	24	8.9	8.8	0.1	1.12
		48	9.9	9.7	0.2	2.02
		96	8.6	8.4	0.2	2.33
		168	8.8	7.9	0.9	10.23
	Media	24	9.3	7.3	2.0	21.51
		48	8.9	7.9	1.0	11.24
		96	8.9	6.2	2.7	30.34
		168	9.3	6.0	3.3	35.48
	Baja	24	9.1	8.6	0.5	5.49
		48	8.0	7.5	0.5	6.25
		96	9.4	8.8	0.6	6.38
		168	9.3	8.7	0.6	6.45

Muestras de cobre

Tabla 10. Datos para muestras de cobre

Acido	Concentración	Tiempo de inmersión (Horas)	Peso (g)		Masa perdida (g)	Masa pérdida (%)
			Inicial	Final		
Clorhídrico	Alta	24	10.4	10.4	0	0
		48	10.5	10.5	0	0
		96	11.4	11.4	0	0
		168	9.2	9.2	0	0
	Media	24	10.8	10.8	0	0
		48	11.3	11.3	0	0
		96	8.9	8.9	0	0
		168	8.9	8.9	0	0
	Baja	24	10.7	10.7	0	0
		48	9.8	9.8	0	0
		96	9.7	9.7	0	0
		168	9.1	9.1	0	0
Sulfúrico	Alta	24	10.4	10.4	0	0
		48	11.3	11.3	0	0
		96	9.7	9.7	0	0
		168	8.8	8.8	0	0
	Media	24	10.7	10.7	0	0
		48	10.7	10.7	0	0
		96	9.7	9.7	0	0
		168	9.3	5.8	3.5	37.63
	Baja	24	10.6	10.6	0	0
		48	10.5	10.5	0	0
		96	9.7	9.7	0	0
		168	9.3	9.3	0	0

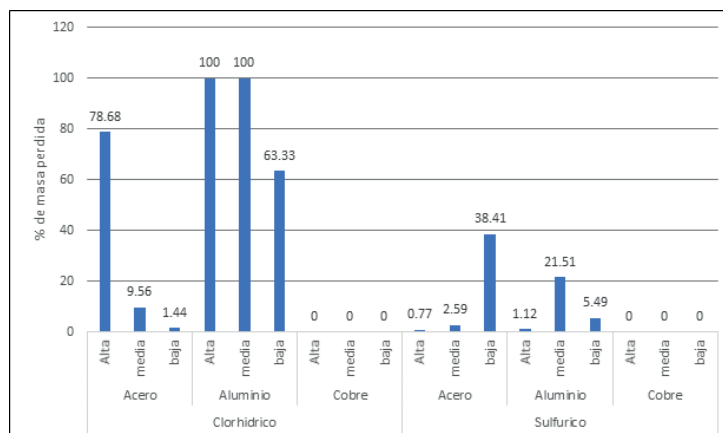


Figura 3. Resumen pruebas de inmersión en 24 horas.

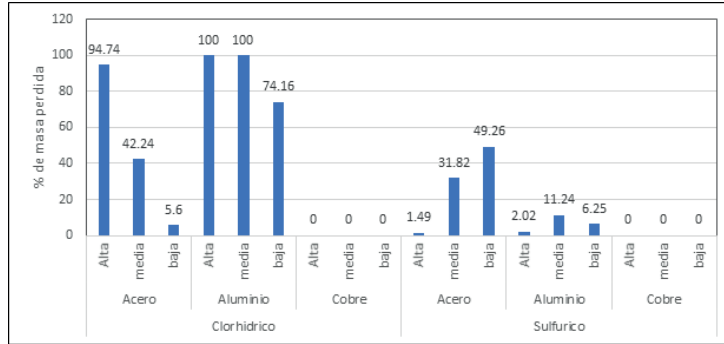


Figura 4. Resumen en pruebas de inmersión en 48 horas

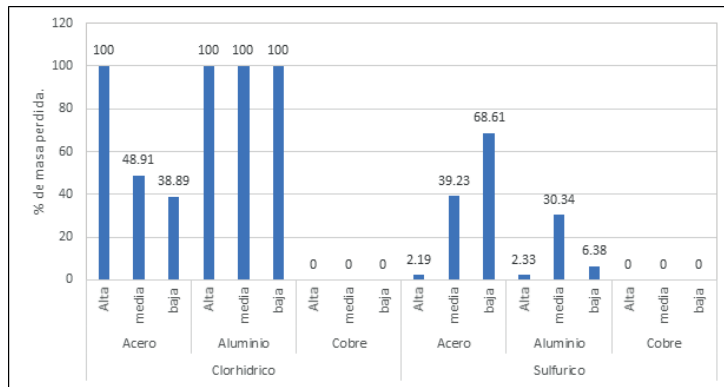


Figura 5. Resumen de pruebas de inmersión en 96 horas

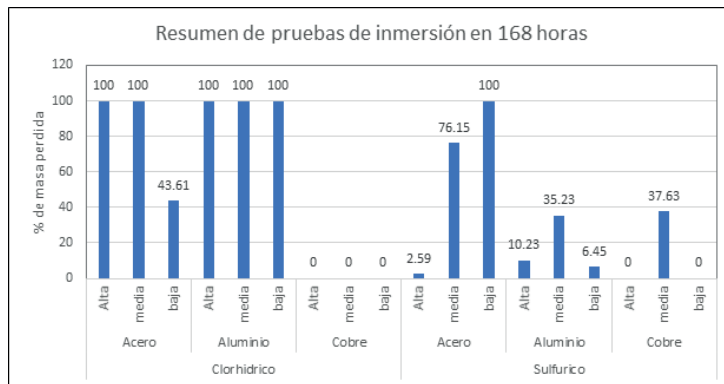


Figura 6. Resumen de pruebas de inmersión en 168 horas

Resumen pruebas de inmersión

Tabla 11. Reporte Prueba de inmersión

Pruebas de inmersión	
Medios corrosivos y concentración	Ácido clorhídrico, Ácido sulfúrico Alta (300ml ácido puro), Media (150ml ácido puro/150ml agua destilada), Baja (75ml ácido puro/ 225ml agua destilada).
Volumen de solución de ensayo	300 ml
Aireación	No aplica
Agitación	No aplica
Tipo de envase usado en el ensayo	Recipiente de Plástico
Duración del ensayo	24, 48, 96, 168 horas para cada ácido y concentración.
Nombre comercial de los materiales	Acero
	Aluminio
	Cobre
Condiciones metalúrgicas de las piezas	No aplica
Numero de muestras de cada material y si la prueba de esas muestras se realizó por separado o en cuales muestras la prueba se realizó en el mismo contenedor	24 muestras de cada material, la inmersión de cada muestra se realizó por separado.
Método usado para limpiar las muestras después de la exposición y la medida de cualquier error esperado por este tratamiento.	Limpieza manual con acetona.
Masa inicial, final y la pérdida de masa de cada muestra	Ver tablas 8, 9 y 10
Evaluación del ataque si hay otro que no sea el uniforme, tal como corrosión por grietas determinando crestas, profundidad y distribución. Resultados de evaluación microscópica o curva de la prueba	No aplica

Conclusiones

El contenido químico de las biomásas tiene un impacto en las características energéticas de los combustibles utilizados en las industrias generadoras de energías renovables, el cual puede reducir la eficiencia en la combustión de los combustibles forestales y agrícolas, los porcentajes altos de los químicos en el material causan daños a las paredes de las calderas y otras partes del proceso de generación. El mecanismo de corrosión en calderas de combustión de biomasa puede ser dividido en tres grupos: corrosión asociada a especies gaseosas u oxidación activa, la corrosión en fase sólida y la corrosión en fase fundida.

La corrosión es afectada por la temperatura y las presiones en la caldera, los contenidos de cloro (Cl), azufre (S), metales alcalinos y oxígeno (O). Las biomásas agrícolas contienen un mayor porcentaje de azufre y cloro en su contenido químico, la quema de combustibles como el raquis de palma (*Elaeis guinnensis*) o king grass (*Pennisetum purpureum*) por su mayor contenido de azufre y cloro tienen una mayor posibilidad de afectar con corrosión las calderas, ya que al oxidarse el azufre y el cloro se genera el HCL que es el ácido clorhídrico en forma gaseosa y también el ácido sulfúrico en su forma gaseosa.

Las biomásas leñosas contienen estos elementos en menor porcentaje, por lo tanto, su uso como combustible es menos perjudicial durante una combustión.

El acero es mayormente dañado por corrosión a medias concentraciones de ácido sulfúrico y a altas concentraciones de ácido clorhídrico.

La presencia de estos ácidos en su forma gaseosa son el principal causante de corrosión por gases en las paredes de las calderas. El aluminio es menos resistente a los ácidos que se pueden generar en un proceso energético con la quema de biomasa, por lo que no es utilizado directamente, pero es utilizado en otros elementos de las industrias por lo que los gases corrosivos pueden llegar hasta él; el cobre presenta una mayor resistencia a la corrosión, pero presenta desventajas en otras características, también su costo es más elevado. Es muy utilizado para refrigeración.

El acero es utilizado en la construcción de calderas de vapor para quema de biomasa ya que presenta buena resistencia a cambio de temperatura y elasticidad, pero es afectado por el contenido químico de la biomasa, el cual provoca la formación de depósitos y corrosión. El ácido sulfúrico causó una menor pérdida de masa respecto al ácido clorhídrico. El porcentaje de potasio, sílice, azufre y cloro son determinantes en la formación de depósitos en las calderas; el porcentaje de estos elementos en la fracción inorgánica de las cenizas de biomasa tanto agrícola como forestal presenta un mayor contenido en las cenizas de biomasa agrícola.

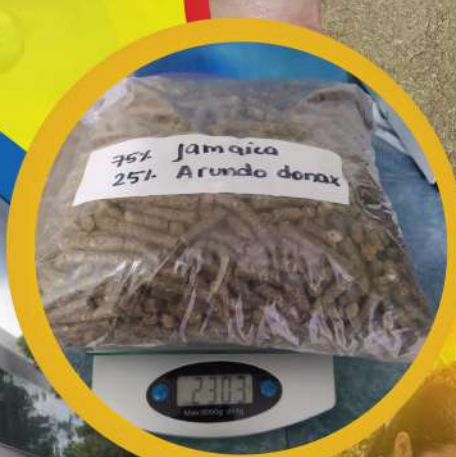
Las cenizas de king grass y raquis de palma contienen un mayor porcentaje de estos elementos a diferencia de las cenizas de biomásas forestal con menor porcentaje en su fracción inorgánica, pero un mayor porcentaje de óxido de sodio. Las biomásas agrícolas poseen mayor contenido de nitrógeno en su composición química, por lo que producen más gases contaminantes para el medio ambiente, resultando el con mayor porcentaje el pasto de king grass.

Bibliografía

- Andino, W. (2010). Estudio comparativo de la producción vegetal de *Pinus oocarpa* con y sin corteza en bosque de pinar. Tesis para la obtención de título de Ingeniería Forestal. Escuela Nacional de Ciencias Forestales (ESNACIFOR). Siguatepeque, Comayagua.
- Bayer, J. F., & Osorio Vélez, L. F. (2014). Biomasa Forestal como alternativa energética. Editorial Universidad de Antioquia. Colombia
- Berlanga, C., & Fernández, J. (2010). Revisión sobre la corrosión de tubos sobrecalentadores en plantas de biomasa. Departamento de Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales. España.
- Helrich, K. (1990.). Official Methods of Analysis 15th Edition Arlington: Association of Official Analytical Chemist.
- Huerta, E. O. (2012). Corrosión y degradación de materiales. Biblioteca de Químicas. Madrid
- Jiménez, S. (2012). Combustión de Biomasa. Energía Sostenible para todos. Obtenido de <http://www.energia2012.es/sites/default/files/Combusti%C3%B3n%20de%20biomasa.pdf>
- Roger, M. R. (2017). Tecnología de la madera aplicada a la biomasa dendroenergética. Instituto Escatológico de Costa Rica.
- Romanelli, G. P., & Ruiz, D. M. (2015). Química de la biomasa y los combustibles. Editorial de la Universidad de La Plata. La Plata, Argentina.

CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS
DEL PÉLET OBTENIDO DE LA
COMBINACIÓN DE LAS ESPECIES
Hibiscus sabdariffa y *Arundo donax*

2



CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DEL PÉLET OBTENIDO DE LA COMBINACIÓN DE LAS ESPECIES *Hibiscus sabdariffa* y *Arundo donax*

Navil Julissa Méndez Santos ^τ
César A. Alvarado ^ϖ
Dani O. Ochoa ^ν

RESUMEN

La presente investigación muestra las características energéticas de biocombustibles sólidos elaborados a partir de la combinación de biomasa obtenida de cultivos con las especies *Hibiscus sabdariffa* y *Arundo donax*.

Para objetivos de esta investigación se estableció un cultivo de *Hibiscus sabdariffa* evaluando la capacidad de germinación y adaptabilidad, obteniendo un porcentaje de germinación de 96% que se logró en un periodo de tiempo de 18 días. En cuanto a su adaptabilidad se obtuvo una altura promedio de 1.88 metros a los 7 meses de establecimiento del cultivo. Se realizó el cálculo de rendimiento por hectárea en función del peso seco de la planta, obteniendo un rendimiento promedio de 10.2 ton/ha.

Se elaboraron 5 tipos de pélet, donde 3 tipos de pélets corresponden a la combinaciones de la materia prima en diferentes proporciones y 2 tipos de pélet del material biomásico sin combinar, en los cuales se determinaron las características energéticas y físicas de estos biocombustibles, las cuales fueron comparadas de acuerdo con parámetros específicos que corresponden a la Norma Europea de Calidad, donde se presentaron resultados favorables y mediante un análisis estadístico se determinó que los diferentes tipos de pélets elaborados, no presentan diferencias significativas en cuanto a su poder calorífico que es una de las características energéticas más importante

El tipo de pélet con mayor poder calorífico se encuentra en el pélet combinado de 25% de *Hibiscus sabdariffa* y 75% *Arundo donax* con un valor de 16.72 MJ/Kg, equivalente a 3,993.5 kcal/kg. En cuanto a la calidad, este tipo de pélet presentó los mejores valores definidos en la Norma ISO 17225-6, en características como poder calorífico, densidad, contenido de humedad y durabilidad.

Palabras claves: cultivo, biocombustibles,
poder calorífico, calidad

^τ e-mail navil.mendezs@gmail.com *autor para correspondencia

^ϖ e-mai: cesalbo48andrea@gmail.com

^ν e-mai: d.ochoa@unacifor.edu.hn

ABSTRACT

This research shows the energetic characteristics of solid biofuels made from the combination of biomass obtained from crops with the species *Hibiscus sabdariffa* and *Arundo donax*.

For the purposes of this research, a *Hibiscus sabdariffa* culture was established evaluating the germination capacity and adaptability, obtaining a germination percentage of 96% that was achieved in a period of 18 days. Regarding its adaptability, an average height of 1.88 meters was obtained at 7 months of establishment of the crop. The yield per hectare was calculated based on the dry weight of the plant, obtaining an average yield of 10.2 ton/ha.

5 types of pellets were made, where 3 types of pellets correspond to the combinations of the raw material in different proportions and 2 types of pellets of the uncombined biomass material, in which the energetic and physical characteristics of these biofuels were determined, which were compared according to specific parameters that correspond to the European Quality Standard, where favorable results were presented and through a statistical analysis it was determined that the different types of pellets produced did not present significant differences in terms of their calorific power, which is one of the most important energy characteristics.

The type of pellet with the highest caloric power is found in the combined pellet of 25% *Hibiscus sabdariffa* and 75% *Arundo donax* with a value of 16.72 MJ/Kg, equivalent to 3,993.5 kcal / kg. Regarding quality, this type of pellet presented the best values defined

in the ISO 17225-6 Standard, in characteristics such as calorific value, density, moisture content and durability.

Key words: culture, biofuels, caloric power, quality

INTRODUCCION

Los cultivos energéticos son cultivos de plantas de crecimiento rápido destinados únicamente a la obtención de energía, o bien materia prima para la obtención de otras sustancias combustibles. Este tipo de cultivos, siendo una alternativa energética muy reciente, provocada por el encarecimiento de los combustibles fósiles y los problemas medioambientales, se enfoca principalmente en el aumento de su rentabilidad energética y económica (Riechmann, 2007).

La biomasa es un conjunto de materia orgánica renovable generalmente de origen vegetal. Como fuente de energía presenta una enorme versatilidad, permitiendo obtenerla mediante diferentes procedimientos tanto combustibles sólidos como líquidos o gaseosos (Secretaría de Energía, 2008). Por sus características físico-químicas y caloríficas, la biomasa es materia prima para la producción de energía (calor y electricidad), de biocombustibles (Martinez, 2009).

El pélet es un combustible ecológico, limpio y renovable que cuenta con una gran capacidad calórica y un bajo impacto ambiental (Salgado, 2010).

Esta investigación se centra en el estudio del desarrollo de cultivo energético acompañado de la transformación de la biomasa en biocombustible buscando alternativas para la producción de energía con especies herbáceas de corta rotación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

Siguatopeque está situado al norte de la Sierra de Montecillos, en la meseta central de Honduras, entre las dos principales ciudades, Tegucigalpa y San Pedro Sula, a una distancia de 114 km de la primera y 139 km de la segunda. Se encuentra a una altitud entre los 1,000 a 1,200 msnm. Su ubicación es de 14° 36' de latitud norte y 87° 50' de longitud oeste, teniendo su municipio una extensión territorial de 606.5 km².

Estación Experimental La Soledad ubicada en la aldea El Taladro, municipio de Comayagua, departamento de Comayagua.

Clima: Con precipitación promedio anual de 883 mm/año, humedad relativa con un promedio anual de 70% y una temperatura promedio de 25 °C.

Topografía: Plana con pendientes promedio de 2%, altitud 640 msnm.

Suelos: Suelos de los Valles, franco arenoso.

Zona de Vida: Bosque Seco Subtropical (bs-ST).

Metodología utilizada en el campo

Inicialmente se seleccionó un área 36 m² para proceder con la instalación del cultivo de *Hibiscus sabdariffa* con el objetivo de obtener materia prima. Una vez seleccionado el sitio, se realizó la delimitación y marcación. Para recolectar material biomásico de la especie *Arundo donax* se delimitó y marcó un área aproximada de 216 m² de un cultivo ya establecido en la Estación Experimental La Soledad.

Se encontraban establecidas 6 parcelas de 6 x 6 m. De acuerdo con la investigación el ensayo contaba con 1032 plantas.

Una vez recolectada la materia prima requerida se llevó a cabo la molienda, este proceso disminuyó el tamaño de la materia tanto para el *Hibiscus sabdariffa* como para el *Arundo donax*, y así lograr el tamaño adecuado para el proceso de peletizado haciendo uso de una maquina pulverizadora.

El secado de ambas especies se llevó a cabo de forma natural, es un proceso que consiste en exponer el material a las condiciones ambientales prevalecientes de temperatura, humedad y velocidad de circulación de aire dado que estas condiciones climáticas no son controlables el tiempo de secado puede variar desde 1 a 2 semanas hasta eliminar gran parte de su humedad y para garantizar que el contenido de humedad se adecuará con las especificaciones de la maquina peletizadora.

Para registrar el contenido de humedad se utilizó un higrómetro de contacto.

Una vez molido y secado el material biomásico se realizaron los tratamientos de materia prima para posteriormente elaborar los pélets (Tabla 1).

Tabla 1. Combinaciones para la fabricación de pélets

Tratamientos	Materias Prima		
	<i>Hibiscus sabdarriffa</i>		<i>Arundo donax</i>
T1	25%	+	75%
T2	55%	+	45%
T3	75%	+	25%
T4	100%		0
T5	0%		100

Cada uno de los porcentajes de determinó en base al peso del material biomásico destinado para la transformación y producción de los pélets.

Metodología de laboratorio y oficina

En la determinación del poder calorífico de los pélets elaborados se utilizaron 500 gramos para cada tipo, realizado en un calorímetro adiabático disponibles en la empresa Tres Valles, Cantarranas, Francisco Morazán.

El del contenido de humedad de los pélets utilizando un medidor de humedad.

Para determinar el contenido de humedad de los pélets se utilizó un medidor de humedad Humimeter de Schaller Messtechnik.

Se realizaron las mediciones en los pélets elaborados de su respectivo diámetro y longitud. Para la medición de ambas variables se hizo uso de un pie de rey expresando dichos valores en milímetros para uniformar las medidas que utilizan las normas europeas, en el caso de la variable longitud se presentó una variación en los tamaños en cada tipo de pélet, por lo que se tomó una muestra al azar de

pélets por cada tipo de pélet y se midió su longitud para seguidamente realizar un breve análisis con algunas variables estadísticas de tendencia central y variabilidad para observar mejor el comportamiento de los datos.

Para el cálculo de la durabilidad, en cada ensayo se tomaron tres pélets por cada tipo, se pesaron haciendo uso de una balanza y se dejaron caer cuatro veces desde una altura de 185 cm sobre una superficie lisa. En cada caída se tomó el trozo de mayor tamaño excluyéndolo de la siguiente caída; al finalizar las cuatro caídas se pesó lo restante de la muestra, es decir los fragmentos de mayor tamaño apartados previamente. Estos resultados se utilizaron en la siguiente ecuación:

Ecuación 1. Cálculo del porcentaje de durabilidad.

$$\% \text{ Durabilidad} = \frac{m_f}{m_i} * 100$$

Donde:

m_i = Masa inicial, en gramos.

m_f = Masa final, en gramos.

Utilizando un medidor adiabático se realizó la prueba química de cenizas a los 5 tipos de pélets elaborados.

Este análisis se realizó en Laboratorio de Análisis de Alimentos Zamorano.

El cálculo de densidad se obtuvo mediante una relación del peso con respecto al volumen, de manera que para conocer la densidad de los pélets es necesario saber ambas variables. Para realizar este análisis se seleccionaron de forma aleatoria tres pélets de cada material, el peso se determinó haciendo uso de una balanza de alta precisión marca PCE MB-210C determinando el mismo en gramos.

Para conocer el volumen de los mismos se utilizó el Principio de Arquímedes, el cual nos señala que al sumergir un cuerpo en agua el volumen de dicho objeto es equivalente a la cantidad de líquido desplazado. Para esto se utilizó una probeta de 10 ml y se llenó hasta 6ml de agua, una vez pesado el pélets se sumergió en la probeta y se pudo observar el desplazamiento del líquido. Y con base en que un ml es igual a un cm³ se aplicó la siguiente ecuación y se calculó un promedio.

Ecuación 2. Cálculo de densidad

$$\rho = \frac{P}{V}$$

Donde:

p= Densidad expresada en gr/cm³.

P= peso en gramos.

V= volumen en cm³.

Para calcular la friabilidad en los pélets se arrojaron 10 pélets a una altura de 100 cm sobre una superficie de cerámica. Una vez arrojados los pélets se cuenta el número de secciones de pélet, es decir tomando en cuenta las fracciones de pélets en caso de haber rupturas. Se realizaron las pruebas tres veces por tipo de pélet y seguidamente se aplicó la siguiente ecuación y se obtuvo un promedio.

Ecuación 3. Cálculo de valor de friabilidad.

$$FR = \frac{NF}{NI}$$

Donde: FR= Friabilidad

NF= número de pélets al final del ensayo.

NI= número de pélets al inicio del ensayo.

El valor de FR siempre será mayor o igual a 1.

Normas de Calidad

Para determinar que los pélets elaborados se encuentran dentro de los rangos de calidad se realizó una comparación entre los resultados obtenidos en la investigación y los parámetros descritos por la Norma Europea de Calidad ISO-17225-6 (Tabla 2), se analizaron características energéticas y físicas más importantes.

Tabla 2. Características energéticas que incluye la Norma ISO 17225-6 para pélets de origen no leñoso.

Características energéticas	Unidad
Diámetro	6.5-8.0 mm
Longitud	40-45 mm
Contenido de humedad	< 10 %
Contenido de ceniza	6-10 %
Durabilidad	96- 98 %
Poder calorífico	14.5- 17.0 MJ/kg

La matriz utilizada especifica el rango idóneo en el que se debe encontrar las características que corresponda de acuerdo al resultado de la investigación, analizando de esta manera si cada tipo de pélet elaborado cumple con la norma de calidad utilizada.

Análisis estadístico

a) La información de la germinación de las semillas de *Hibiscus sabdariffa* se estudió tomando 5 lotes, de 50 semillas cada uno. Se recopilaron datos de germinación durante 18 días, registrando de esta manera el porcentaje de germinación de cada lote, para posteriormente determinar el porcentaje de germinación promedio total.

Los valores obtenidos se evaluaron y procesaron en el programa estadístico Minitab, con el fin de, establecer una función que relacione el porcentaje de germinación de la semilla respecto al tiempo.

b) Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA), con 5 tratamientos (Tabla 5). Los tratamientos hacen referencia a las proporciones de combinación de materias primas transformadas en pélets. El análisis estadístico consistió en determinar si presentaban o no diferencias significativas las mediciones de poder calorífico de los 5 tratamientos con 3 repeticiones, según el análisis de varianza (ANDEVA) a un nivel de significancia de 5%. El análisis se realizó haciendo uso del programa Minitab en el cual no se determinaron diferencias significativas. Este análisis se realizó a los resultados obtenidos de poder calorífico, que son, una de las características energéticas más importantes en los biocombustibles sólidos densificados.

RESULTADOS

Capacidad de Germinación de *Hibiscus sabdariffa*

La capacidad de germinación se evaluó con cinco lotes de semilla (Figura 1), cada lote de semillas contenía 50 semillas. Se realizaron monitoreos periódicos cada 3 días después de colocada la semillas hasta obtener el porcentaje de germinación final que se obtuvo realizando un promedio de germinación entre los cinco lotes incluidos en el ensayo.

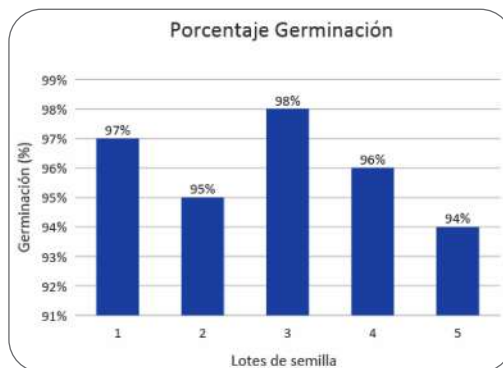


Figura 1. Porcentaje de germinación de los cinco lotes de semilla

La semilla de *Hibiscus sabdariffa* no tuvo tipo de tratamiento previo a su germinación, ni almacenamiento en ningún cuarto frío, la semilla estudiada presentó un porcentaje de germinación de 96%.

Los resultados de germinación se expresan en promedio, relacionando de esta manera los lotes utilizados para este fin, y la germinación final se registró a los 18 días.

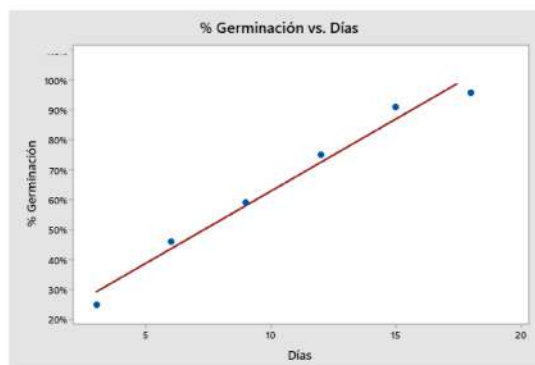


Figura 2. Porcentaje de germinación en función de tiempo

Se elaboró una función de regresión para el porcentaje de germinación tomando como base el número de días (período de tiempo estimado en que la semilla tardó en germinar).

Ecuación 4. Porcentaje de germinación en función de tiempo.

$$\% \text{ Germinación} = 14.733 + 4.819 (\text{Número de días})$$

Presentando un coeficiente de correlación de 97.47% mostrando regularidad entre el porcentaje de germinación y el periodo de tiempo en que la semilla germinó.

Proceso de adaptación de la especie *Hibiscus sabdariffa*

a) Germinación: La plantación se estableció con un método de siembra directa, y se obtuvo una germinación del 96%.

b) Crecimiento: De acuerdo a las evaluaciones que se realizaban a la plantación, alcanzando una altura promedio de 1.88 m a los 7 meses de establecida.

c) Floración: Se observó una floración abundante, en esta característica de la planta no se presentó ninguna anomalía y la transición de la planta de floración a fructificación se considera gradual.

d) Fructificación: Es mediante un cáliz o capsula es de unos 2.5 cm de diámetro. Después que la flor muere, el cáliz alrededor de la flor se agranda. Este cáliz se encuentra en color marrón y es aquí donde están las semillas de la planta que en promedio se encuentran de 20 capsulas con un promedio 8 semillas.

e) Fase Vegetativa: Es la de formación del tallo, la cual no presentó ninguna anomalidad y se desarrolló satisfactoriamente.

f) Fase reproductiva: Florece alrededor de los 100 a 120 días después de sembrada, y la cosecha se realiza cuando la planta inicia la maduración.

Los resultados de adaptación en base a la germinación, y desarrollo en altura de *Hibiscus sabdariffa* mostraron buenos resultados para la producción de biomasa. Para estudiar el crecimiento referente a la altura de la planta se realizaron 7 mediciones durante los 7 meses en que se estableció la plantación de esta manera se alcanzó una altura promedio de 1.88 metros.

Posterior a esto se estableció una ecuación que relaciona la altura de la planta con el número de meses en que se evaluó el crecimiento (Ecuación 2).

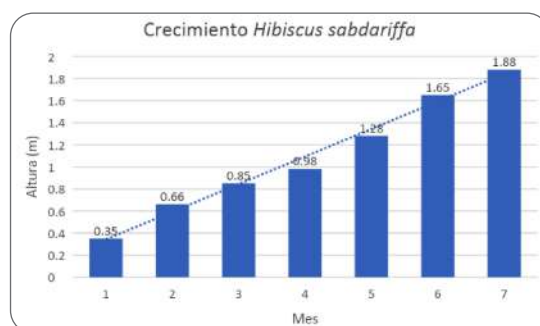


Figura 3. Crecimiento en altura de *Hibiscus sabdariffa* en función de tiempo

Ecuación 5. Altura en función del número de meses

$$\text{Altura} = 0.09286 + 0.2500 (\text{número de meses})$$

Con respecto a la productividad, la plantación se monitoreó durante siete meses, durante este periodo se tomaron mediciones de la altura y también el peso promedio registrado por planta. El peso seco promedio por planta de *Hibiscus sabdariffa* fue de 0.0147 kg.

El valor de peso también fue referido a hectárea, tomando como referencia el número de plantas por hectárea a un espaciamiento de 0.12 m x 0.12 m.

Tabla 3. Rendimiento por hectárea de *Hibiscus sabdariffa*

Número de plantas/ha	Peso	
	(kg/ha)	(ton/ha)
694,444	10,208.3	10.2

Obteniendo el número de plantas por hectárea también se determina la disponibilidad de semillas en función de la densidad del cultivo. Tomando como referencia que en promedio 100 semillas de *Hibiscus sabdariffa* tienen un peso de 0.0022 kg y se cuenta con un promedio de 160 semillas por planta.

Tabla 4. Disponibilidad de la semilla de *Hibiscus sabdariffa* por hectárea

Plantas/ha	Semillas/ha	Peso de semilla/ha (Kg)
694,444	111,111,040	2,444.4

Para la especie *Arundo donax* también se calculó el rendimiento del cultivo, establecido en la Estación Experimental La Soledad, el peso promedio de una planta de *Arundo donax* es de 10.76 gramos, el cultivo cuenta con un espaciamiento de 0.25m x 0.25 m. Lo que producirá un rendimiento, en base seca, de 1.7 ton/ha en un periodo de tiempo de 2.5 meses de establecido el cultivo.

Poder calorífico

El poder calorífico resultante en las pruebas calorimétricas realizadas a los pélets resultante de la combinación de las especies se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 5. Poder calorífico de los pélets y contenido de humedad

PÉLETS	MUESTRA 1		MUESTRA 2		MUESTRA 3	
	Kcal/Kg	% Humedad	Kcal/Kg	% Humedad	Kcal/Kg	% Humedad
25% <i>Hibiscus sabdariffa</i> + 75% <i>Arundo donax</i>	4,027.56	8.94	3,935.52	9.30	4,023.59	8.97
55% <i>Hibiscus sabdariffa</i> + 45% <i>Arundo donax</i>	3,952.92	9.45	3,858.67	10.40	3,968.68	9.39
75% <i>Hibiscus sabdariffa</i> + 25% <i>Arundo donax</i>	3,868.98	11.49	3,840.09	10.50	3,930.12	9.65
100% <i>Hibiscus sabdariffa</i>	3,970.73	9.34	3,989.53	9.15	3,906.54	9.75
100% <i>Arundo donax</i>	3,963.55	9.47	3,864.79	11.3	3,883.10	9.46

Tabla 6. Poder calorífico de los pélets expresado en MJ/Kg según la norma ISO 17225-6

Pélets	Poder Calorífico MJ/KG				Desviación Estándar	Coeficiente Variación
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio		
25% <i>Hibiscus sabdariffa</i> + 75% <i>Arundo donax</i>	16.86	16.47	16.85	16.73	0.21793	1.3%
55% <i>Hibiscus sabdariffa</i> + 45% <i>Arundo donax</i>	16.55	16.15	16.62	16.44	0.24913	1.5%
75% <i>Hibiscus sabdariffa</i> + 25% <i>Arundo donax</i>	16.19	16.07	16.45	16.24	0.19258	1.2%
100% <i>Hibiscus sabdariffa</i>	16.62	16.70	16.36	16.56	0.18223	1.1%
100% <i>Arundo donax</i>	16.59	16.18	16.26	16.34	0.22011	1.3%

La Norma ISO 17225-6 define dentro de sus parámetros de calidad el valor mínimo encontrado en la tabla 7.

Tabla 7. Poder calorífico según la Norma ISO 17225-6

ISO 17225-6	
Poder Calorífico	Rango Límite
	≥ 14.5



Figura 4. Comparación entre poder calorífico obtenido y el parámetro establecido por ISO 17225-6

De acuerdo con la Figura 4 los poderes caloríficos obtenidos como resultado en el estudio de los pélets elaborados de la combinación de las especies, todas se encuentran sobre el valor mínimo definido por la Norma, es decir que los pélets cumplen con el parámetro de poder calorífico especificado en la Norma.

El poder calorífico es la energía que se obtiene de la combustión de la biomasa. Esto significa que cuanto más alto sea este valor, mejor será la calidad del pélet, la combustión y el calor que se desarrolla. Se considera que el poder calorífico es un indicador de la energía químicamente ligada al biocombustible.

Habitualmente, el contenido energético de la biomasa se mide en función del poder calorífico del recurso, aunque para alguno de ellos, como es el caso de la biomasa residual húmeda, se determina en función del poder calorífico del producto energético obtenido en su tratamiento. (Herguedas & Taranco, 2012). Por lo tanto, se ha estimado conveniente aplicar un análisis de varianza al poder calorífico siendo esta una de las características energéticas más importante.

Análisis de varianza

En el análisis de varianza para los poderes caloríficos de los pélets se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con cinco tratamientos que hacen referencia a las materias primas de las cuales fueron elaborados los pélets y tres repeticiones a un nivel de significancia de 0.05%.

Tabla 8. Análisis de varianza realizado al poder calorífico de los pélets

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Pélets	4	0.2896	0.07239	1.34	0.320
Error	10	0.5395	0.05395		
Total	14	0.8291			

De acuerdo a la Tabla 8, en el cual se presenta el Análisis de Varianza que se realizó para los pélets elaborados, se determinó que p es mayor 0.05 por lo que se infiere que estadísticamente que no existe diferencia significativa entre los poderes caloríficos de los pélets elaborados de la combinación de las especies como de los elaborados de material puro.

Contenido de Humedad

Tabla 9. Contenido de humedad determinado en el pélet

Tipo de Pélet	Contenido de Humedad (%)
25% <i>Hibiscus sabdariffa</i> + 75% Arundo	8.94
55% <i>Hibiscus sabdariffa</i> + 45% Arundo	9.45
75% <i>Hibiscus sabdariffa</i> + 25% Arundo	11.49
100% <i>Hibiscus sabdariffa</i>	9.34
100% Arundo	9.47

El contenido de humedad es uno de los parámetros que incluye las normas ISO 17225-6 y en la Tabla 10 se observa el rango en que debe encontrarse.

Tabla 10. Contenido de humedad según las Normas ISO 17225-6

ISO 17225-6	
Contenido de Humedad	Rango Límite
	≤ 10

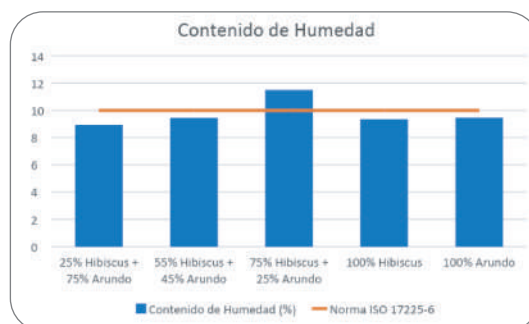


Figura 5. Comparativo contenido de humedad y parámetro establecido por ISO 17225-6

De acuerdo a los resultados obtenidos de contenido de humedad de los pélets elaborados realizando una comparación con las normas ISO, podemos concluir que cuatro tipos de pélet se encuentran dentro de los parámetros aceptados por la Norma, mientras que el pélet de 75% *Hibiscus sabdariffa* con 25% *Arundo donax* no está dentro del rango, pero esto se debe a que una de las muestras altera este valor con un contenido de humedad superior al 10% (Figura 5).

Dimensiones de los pélet

Tabla 11. Medidas de tendencia central y de dispersión con respecto al diámetro encontrado en los pélets elaborados

Pélets	Media	Máximo	Mínimo	Desviación Estándar	Coefficiente Variación
	Milímetros				
25% <i>Hibiscus sabdariffa</i> + 75% <i>Arundo donax</i>	6.27	6.38	6.18	0.0894	1.43%
55% <i>Hibiscus sabdariffa</i> + 45% <i>Arundo donax</i>	6.32	6.40	6.21	0.0810	1.28%
75% <i>Hibiscus sabdariffa</i> + 25% <i>Arundo donax</i>	6.28	6.37	6.16	0.0970	1.55%
100% <i>Hibiscus sabdariffa</i>	6.26	6.27	6.22	0.0238	0.38%
100% <i>Arundo donax</i>	6.29	6.33	6.22	0.0465	0.74%

El rango de variabilidad en el diámetro de los distintos pélets es mínima en promedio se encuentra desde 6.26 mm hasta 6.37 mm. La desviación estándar indica que tan dispersos están los datos con respecto a la media, en este caso los diámetros de los pélets, se puede observar en la Tabla 13 que los pélets que presentan menor dispersión en sus diámetros son los elaborados a partir de materia pura de *Hibiscus sabdariffa* y la mayor dispersión la presentan los pélets elaborados de 25% *Hibiscus* con 75% de *Arundo*.

La variación en los diámetros de los pélets es baja, pero es importante identificar las causas de la misma, la cantidad fibra influye ya que durante el proceso de peletizado puede compactarse, pero una vez que se enfría o la salida del canal de compresión, cuando la materia regresa a presión atmosférica, tiende a regresar a su volumen inicial.

Tabla 12. Medidas de tendencia central y de dispersión con respecto a la longitud encontrada en los pélets elaborados

Pélets	Media	Máximo	Mínimo	Desviación Estándar
25% <i>Hibiscus sabdariffa</i> + 75% <i>Arundo donax</i>	45.11	48.88	41.43	4.0690
55% <i>Hibiscus sabdariffa</i> + 45% <i>Arundo donax</i>	41.93	48.24	37.43	4.6326
75% <i>Hibiscus sabdariffa</i> + 25% <i>Arundo donax</i>	44.06	48.34	38.46	4.4591
100% <i>Hibiscus sabdariffa</i>	41.83	45.66	38.15	3.6642
100% <i>Arundo donax</i>	41.41	48.65	37.57	4.9329

Los valores encontrados para la longitud de los pélets oscilan con un promedio de 41.41 mm hasta 45.11 mm, los resultados definen que en promedio las longitudes inferiores se encuentran en los pélets de *Arundo donax* (Tabla 12), así como también mayor dispersión entre sus datos. Los pélets que presentan menor dispersión en sus longitudes son los elaborados de *Hibiscus sabdariffa* y las longitudes superiores se encuentran en los pélets de 25% Hibiscus con 75% Arundo.

La norma ISO 17225-6 establece que el pélet está dentro de los parámetros de calidad si la longitud de 40 – 45 m. Todos los pélets cumplen con los valores señalados por la norma.

Durabilidad Mecánica

Tabla 13. Durabilidad mecánica de los pélets elaborados

Tipo de Pélet	Peso 1	Peso 2	Durabilidad	Promedio
25% <i>Hibiscus sabdariffa</i> + 75% <i>Arundo donax</i>	3.40	3.32	97.65%	96.87%
	3.08	2.97	96.43%	
	2.59	2.50	96.53%	
55% <i>Hibiscus sabdariffa</i> + 45% <i>Arundo donax</i>	3.01	2.88	95.68%	96.35%
	3.27	3.14	96.02%	
	2.65	2.58	97.36%	
75% <i>Hibiscus sabdariffa</i> + 25% <i>Arundo donax</i>	2.60	2.45	94.19%	93.76%
	3.75	3.52	93.87%	
	2.95	2.75	93.22%	
100% <i>Hibiscus sabdariffa</i>	3.98	3.91	98.24%	98.58%
	3.12	3.08	98.72%	
	2.44	2.41	98.77%	
100% <i>Arundo donax</i>	3.55	3.28	92.45%	92.43%
	2.79	2.56	91.86%	
	3.90	3.62	92.99%	

Tabla 14. Durabilidad establecida por la Norma ISO 17225-6

ISO 17225-6	
Durabilidad	Rango Límite
	≥ 96

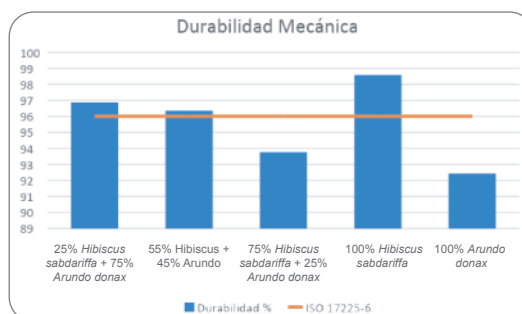


Figura 6. Comparación entre poder calorífico obtenido y el parámetro establecido por ISO 17225-6

Como resultado de la comparativa en la Figura 6, los pélets de 100% *Arundo donax* y 75% *Hibiscus* con 25% *Arundo donax* no cumplen con los parámetros establecidos por la Norma ya que su valor se encuentra debajo del límite mínimo establecido. Los 3 tipos de pélets restantes cumplen con la especificación señalada por la norma.

La durabilidad del pélet y eficiencia del peletizado pueden mejorarse sustancialmente con un adecuado tamaño en la materia prima utilizada, temperatura, presión y un vapor de calidad. El vapor extrae los aceites esenciales que hay en la materia prima utilizada, lo cual lubrica y reduce el desgaste en los rolos y dados, y así aumenta la tasa de producción.

Contenido de Cenizas

Indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de materia prima. Conviene que su porcentaje en relación a la materia seca sea el menor posible (Herguedas & Taranco, 2012).

Tabla 15. Contenido de humedad en los pélets de material combinado

Pélet	% Cenizas
25% <i>Hibiscus sabdariffa</i> + 75% <i>Arundo donax</i>	6.67
55% <i>Hibiscus sabdariffa</i> + 45% <i>Arundo donax</i>	4.98
75% <i>Hibiscus sabdariffa</i> + 25% <i>Arundo donax</i>	5.45
100% <i>Hibiscus sabdariffa</i>	6.14
100% <i>Arundo donax</i>	5.42

Tabla 16. El contenido de cenizas de acuerdo con las normas ISO 17225-6

ISO 17225-6	
Contenido de Cenizas	Rango Límite
	≤ 10

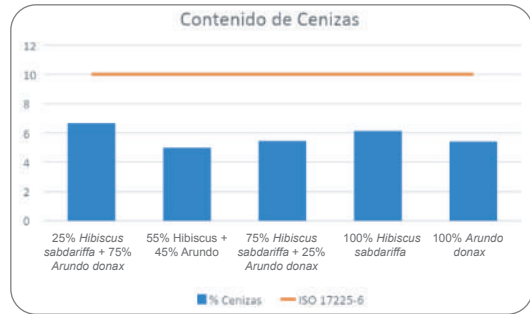


Figura 7. Comparativo contenido de cenizas del pélet con lo establecido en la norma ISO 17225-6

El resultado obtenido en el porcentaje de cenizas de los pélets elaborados de la combinación y puros de las especies *Hibiscus sabdariffa* y *Arundo donax* se encuentran dentro de los rangos aceptados por las normas ISO 17225-6 como se presenta en la Figura 7.

Densidad

El alto poder calorífico que presentan los pélets se debe en gran parte a altas densidades y un contenido bajo de humedad en el pélets, esto debido a que entre mayor sea la densidad, mayor será la energía que el pélet entregar por volumen ocupado. La densidad en los pélets suele variar entre 1.0 y 1.2 g/ cm³ (Cacho, 2015).

Tabla 17. Densidad encontrada en los pélets elaborados

Pélets	gr/cm ³	kg/m ³
25% <i>Hibiscus sabdariffa</i> + 75% <i>Arundo donax</i>	1.29	1,290
55% <i>Hibiscus sabdariffa</i> + 45% <i>Arundo donax</i>	1.24	1,240
75% <i>Hibiscus sabdariffa</i> + 25% <i>Arundo donax</i>	1.25	1,250
100% <i>Hibiscus sabdariffa</i>	1.28	1,280
100% <i>Arundo donax</i>	1.22	1,220

Friabilidad

La friabilidad es un número mayor o igual a uno, mientras más se aleja dicho índice a uno más friable es el pélets, por lo tanto, menor su resistencia al golpeo.

Tabla 18. Friabilidad encontrada en los pélets elaborados.

Pélets	Friabilidad
25% <i>Hibiscus sabdariffa</i> + 75% <i>Arundo donax</i>	1
55% <i>Hibiscus sabdariffa</i> + 45% <i>Arundo donax</i>	1.2
75% <i>Hibiscus sabdariffa</i> + 25% <i>Arundo donax</i>	1.2
100% <i>Hibiscus sabdariffa</i>	1
100% <i>Arundo donax</i>	1.3

CONCLUSIONES

La capacidad de germinación de la semilla de *Hibiscus sabdariffa* estuvo influenciada por el tiempo de cosecha. El tiempo de cosecha permitió la recolecta de semilla sana, sin maduración completa y con alto poder germinativo.

El *Hibiscus sabdariffa* no presentó ninguna limitación en el transcurso de su desarrollo y todas las características presentadas coinciden con la descrita en la revisión bibliográfica. Presentando resultados de adaptación referidos a porcentaje de germinación de 96%, producción de 2,444.4 kg de semillas por hectárea, desarrollo de una altura promedio de 1.88 m y un rendimiento de 10.2 toneladas de materia seca por hectárea, a los 7 meses de establecido el cultivo, así mismo el *Arundo donax* produce 1.7 toneladas de materia seca por hectárea a los 2.5 meses de establecido el cultivo y a un espaciamiento de 0.25 m x 0.25 m. Se muestran resultados interesantes para la producción de biomasa y así considerarse como especies alternativas para fines energéticos.

De acuerdo a la prueba realizada a los poderes caloríficos se observa que el pélet combinado con 25% *Hibiscus sabdariffa* y 75% *Arundo donax* el poder calorífico más alto, sin presentar diferencia significativa con el resto de ellos. La media calorífica más baja es la de los pélets elaborados a partir de 75% *Hibiscus Sabdariffa* con 25% *Arundo donax*. El poder calorífico es uno de los factores más importantes en un combustible, los intereses industriales y de calidad dan igual importancia a las características energéticas que influyen en la eficiencia del pélet.

En cuanto a la calidad de los pélets, el que presentó la mejor calidad fue la combinación de 25% *Hibiscus sabdariffa* y 75% *Arundo donax*, los cuales presentan valores por sobre los definidos en la norma de calidad europea en características como poder calorífico, densidad, bajo contenido de humedad y alta durabilidad.

Los pélets elaborados presentan un bajo contenido de cenizas de 5.42 a 6.67%, lo cual es un fuerte indicativo de la calidad de combustión.

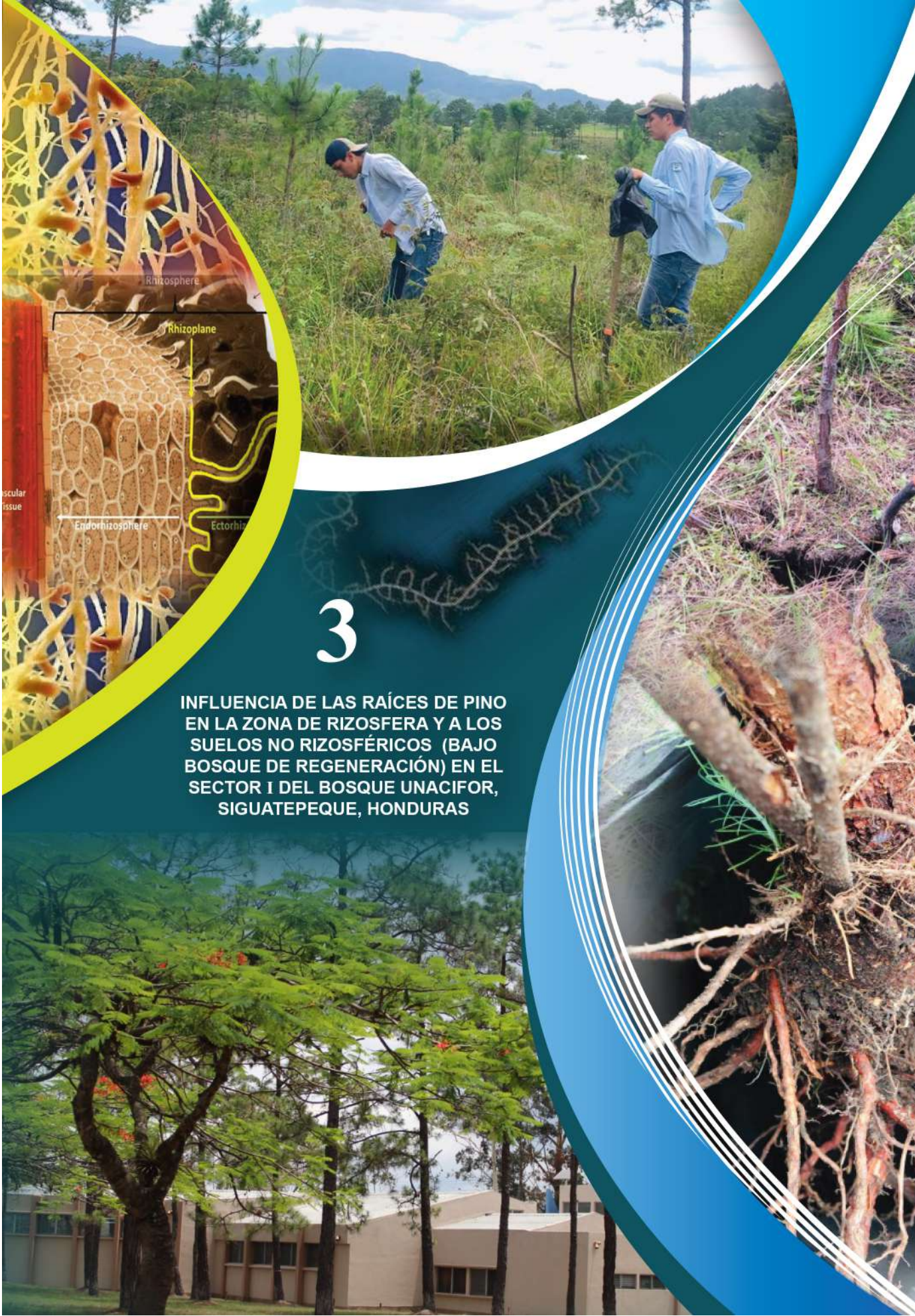
En términos generales los pélets elaborados presentaron valores favorables en la mayoría de las características analizadas, como altos valores en densidades desde 1.22 hasta 1.29 g/ cm³, valores aceptables de friabilidad de 1.0 a 1.3.

La determinación de las propiedades físicas y energéticas señalan que las especies estudiadas cumplen, en general, con la normativa para la producción de pélets a partir de ellas.

Cabe recalcar que el análisis realizado se basó fundamentalmente en un índice de calidad europeo.

BIBLIOGRAFÍA

- Cacho, D. (2015). Estudio de los parametros de peletizado de residuos biomasicos en peletizadora semi-industrial. Universidad de Extremadura, Escuela de Ingenierías Industriales. Badajoz, España.
- Herguedas, A. y Taranco, C. (2012). Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad. Bloque I. Materias primas. Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario. ITAGRA.CT. España.
- Martinez, S. (2009). Evaluación de la biomasa como recurso energético renovable en Cataluña. Universidad de Girona. España
- Riechmann, J. (2007). Biomasa y Agrocombustibles. Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud y Universidad de Barcelona. Ecologia politica. Barcelona.
- Salgado, M. (2010). La biomasa y los biocombustibles. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- Secretaría de Energía. (2008). Energía Biomasa. Energías renovables. Subsecretaria de Energía Eléctrica. Argentina.



Rhizosphere

Rhizoplane

Endorhizosphere

Ectorrhizosphere

vascular tissue

3

INFLUENCIA DE LAS RAÍCES DE PINO EN LA ZONA DE RIZOSFERA Y A LOS SUELOS NO RIZOSFÉRICOS (BAJO BOSQUE DE REGENERACIÓN) EN EL SECTOR I DEL BOSQUE UNACIFOR, SIGUATEPEQUE, HONDURAS



INFLUENCIA DE LAS RAÍCES DE PINO EN LA ZONA DE RIZOSFERA Y A LOS SUELOS NO RIZOSFÉRICOS (BAJO BOSQUE DE REGENERACIÓN) EN EL SECTOR I DEL BOSQUE UNACIFOR, SIGUATEPEQUE, HONDURAS

Oscar Orlando Castellon Leiva^δ

Allan Carlos Bendeck Gabrie^φ

Eli Vicente Raudales García^β

RESUMEN

En Honduras desde sus comienzos en manejo de los bosques, se han utilizado valores que han oscilado entre 4.5 - 7.0 de pH para el suelo de las plantas del pino, sin tenerse un dato más preciso, por lo cual se desconoce cuáles son verdaderamente los requerimientos que tienen los pinos. Por esta razón, esta investigación se orientó a determinar cuál era la condición en la que se desarrollaban los pinos en el Sector I del bosque universitario, realizando una comparación de dos muestras de suelo, siendo una de suelo Rizosférico y otra de suelo No Rizosférico. La recolección de estas muestras se realizó de forma aleatoria dentro de una plantación buscando tener una muestra más significativa del suelo del área. Las muestras fueron enviadas a un laboratorio de suelos, las cuales mostraron elevadas diferencias, teniendo el suelo Rizosférico un valor más elevado en la cantidad de materia orgánica, siendo esta de 4.28 gramos por 100 gramos, superior al 2.83 gramos por 100 gramos en suelo No Rizosférico, y por ende debido a que la cantidad de materia orgánica en la zona de Rizosfera es mayor, esto influye directamente en una relación carbono/nitrógeno más elevada, dando como resultado un 18.5, que es superior al 16.5 del suelo No Rizosférico.

La diferencia de los elementos encontrados también presentó una gran variación, la mayoría de los elementos se encontraban en mayores cantidades en zona de Rizosfera que en suelo No Rizosférico, a excepción del sodio respectivamente. En síntesis, la zona de Rizosfera es la que cuenta con la mejor condición de suelo para las plantas del pino en su temprana etapa de plantación, dado que aquí hay un mayor contenido de materia orgánica y por lo tanto, una mejor disponibilidad de nutrientes.

Palabras claves: raíces, pino, suelos, Rizosfera y pH

^δ e-mail: orlandocastellon04@gmail.com * Autor para correspondencia

^φ e-mail: allancben@yahoo.com

^β e-mail: e.raudales@unacifor.edu.hn

ABSTRACT

In Honduras, since its beginnings in forest management, values that have oscillated between 4.5 – 7.0 pH have been used for the soil of pine plants, without having a more precise data, for which it is unknown what the real requirements are. that the pines have. For this reason, this research was aimed at determining the condition in which the pines were developing in sector one of the university forest, making a comparison of two soil samples, one of Rhizospheric soil and the other of Non-Rhizospheric soil. The collection of these samples was carried out randomly within the plantation seeking to have a more significant sample of the soil in the area. The samples were sent to a soil laboratory, which showed high differences, the Rhizospheric soil having a higher value in the amount of organic matter, this being (4.28 grams per 100 grams) higher than (2.83 grams per 100 grams) in Non-Rhizospheric soil, and therefore because the amount of organic matter in the rhizosphere zone is greater, this directly influences a higher carbon / nitrogen ratio, resulting in a (18.5) that is higher than (16.5) Non-Rhizospheric soil.

The difference of the elements found also presented a great variation, most of the elements were found in greater quantities in the Rhizosphere zone than in Non-Rhizospheric soil, with the exception of sodium, respectively. In summary, the rhizosphere zone is the one with the best soil condition for pine plants in their early planting stage, since here there is a higher content of organic matter and therefore a better availability of nutrients.

Key words: roots, pine, soils, rhizosphere and pH

INTRODUCCION

La Rizosfera es la región del suelo cuya actividad biológica está influenciada por las raíces de las plantas. En esta zona los exudados de las raíces afectan los procesos del suelo y los microorganismos que se encuentran en él. Se caracteriza por el aumento en el número de microorganismos y su actividad en él (Caly, 2014).

Se puede encontrar una gran cantidad de microorganismos en la Rizosfera, incluidos hongos, bacterias, actinomicetos, protozoos y algas. Estos microorganismos están estableciendo una asociación con las raíces, que puede ser beneficiosa o perjudicial. En el primer caso, algunos ejemplos son micorrizas, bacterias fijadoras de nitrógeno, bacterias promotoras del crecimiento de las plantas y agentes de control biológico; en el caso de los perjudiciales, se destacan todos aquellos microorganismos fitopatógenos. (Kamilova & Lugtenberg, 2009).

Según (INE, 2018), Honduras cuenta con una extensión territorial de 11,249,200 hectáreas, de las cuales el 52.1% son tierras con cobertura forestal, que incluye los bosques latifoliados, coníferas y mixto; De acuerdo a los datos del 2018, los bosques tienen una cobertura de superficie de 47.9% (5,384,424 ha.) del territorio nacional; de estos, un 36.6% pertenece a los bosques de conífera que equivalen a 1,972,675 hectáreas, distribuidos en la parte central del país. Este tipo de bosque constituye un bioma forestal terrestre que se presenta en zonas altas y bajas.

Es por esta razón que los bosques de pinos son de gran importancia para la economía y el medio ambiente (Kretschmar, 2017).

Las raíces de pino juegan un papel crucial en la fertilidad del suelo, ya que por los procesos de descomposición llevados a cabo por los microorganismos se realiza la incorporación de todos estos nutrientes en el suelo. Por lo tanto, se puede decir que en los bosques de coníferas los pinos a través de la zona de la Rizosfera y la actividad que se produce en ellos son los que incorporan directamente estos nutrientes en el suelo, contribuyendo así a mejorar el pH de estos.

MATERIALES Y METODOS

Descripción del área de estudio

El Bosque UNACIFOR se encuentra ubicado entre los municipios de Siguatepeque, Comayagua y El Rosario del departamento de Comayagua. De acuerdo con la clasificación de Holdridge este pertenece al Bosque Seco Montano Bajo Subtropical, con una precipitación que va desde los 1200 a 1300 mm y su altura entre los 800 a los 1400 metros sobre el nivel del mar, contando con una superficie boscosa de 41.94 % del territorio total (ICF, 2014, citado por Andrade Castro, 2019).

Esta investigación se realizó en el Sector I del bosque de la UNACIFOR, localizado en los 3 municipios antes mencionados, comprendiendo a un área total de 4,450.3 hectáreas que están divididas en 7 sectores y estos en rodales.

1. Determinación de la condición nutricional existente en la zona de Rizosfera y los suelos No Rizosféricos

Trabajo de oficina previo al trabajo de campo

Se identificó un área representativa para la toma de las muestras de suelo, seleccionando la plantación de 5 años conocida como El Redondel.

Cuenta con un área de 4.5 hectáreas y una altura promedio de 80 cm, por lo cual se encuentra en el estrato de pino joven (P0).

Trabajo de campo

Se extrajo un total de 25 pinos al azar dentro de la plantación para tener una muestra más significativa del suelo del sector, extrayendo un total de 25 sub muestras por cada tipo de suelo para posteriormente formar una individual que sea representativa a cada uno de los suelos requeridos. Se utilizaron herramientas como ser palines, palas y barras para sacar cuidadosamente las pantas del suelo para tener una mejor muestra de lo que es la zona de Rizosfera, extrayendo las raíces de forma que el suelo no se desprenda de ella para después sacudir cuidadosamente las raíces de los árboles sobre una lona para no contaminar las muestras de Rizosfera.

Después se rotularon para una identificación al momento de enviarlas al laboratorio en los embaces adecuados para su procesamiento.

Para la muestra del suelo No Rizosférico se necesitó de una pala para tomar una porción de suelo del borde del agujero donde se extrajo la plata anteriormente, posteriormente se colocarán las porciones de suelo extraídas en un embace seleccionado para tener la mejor muestra, después se rotuló para su extracción y transporte al Laboratorio de Análisis de Suelos.

Trabajo de oficina posterior al trabajo de campo

Se marcaron los embaces donde están las muestras de los suelos con su respectiva e identificación, detallando los análisis requeridos.

Trabajo de laboratorio

Las muestras obtenidas se enviaron al Laboratorio de Suelos de la Escuela Agrícola Panamericana el ZAMORANO para que se les realizaran los análisis requeridos y una vez teniendo los resultados de los análisis de suelos, se hizo la comparación de las condiciones entre ambos (Rizosfera/ suelo No Rizosférico).

2. Determinación la relación Carbono /Nitrógeno entre ambos suelos

Al ser obtenidos los resultados de laboratorio se analizó la existencia de Nitrógeno y de Carbono en cada una de las muestras, observando la cantidad de estos nutrientes con una comparación de medias entre las muestras, para saber cuál de estos dos suelos presenta una mejor condición de desarrollo para la planta de pino.

3. Determinar la diferencia de los elementos encontrados de acuerdo al análisis entre ambos tipos de suelos, Rizosfera y No Rizosférico

Para esto se hizo una comparación entre las medias de los resultados obtenidos para cada una de las dos muestras, observando los nutrientes existentes, como el fósforo, nitrógeno, potasio, calcio, magnesio, etc., y en qué porcentaje se encuentran estos dentro de cada tipo de suelo y así también analizar dentro de la materia orgánica.

RESULTADOS

1. Análisis de suelo

En los respectivos resultados de los análisis de las dos muestras de suelo, se observó que existen diferencias significativas entre ambas muestras, mostrando mejores resultados la muestra de suelo Rizosfera.

Los resultados del análisis se presentarán detalladamente uno por uno a continuación:

1. 1 pH de las muestras

En cuanto a los resultados del pH de las muestras, se observan los valores de 5.48 en suelo Rizosfera y 5.83 en suelo No Rizosférico, presentando una diferencia de 0.33, siendo el suelo de la Rizosfera más ácido que el de la otra muestra.

Los cambios en el pH inducidos por las raíces están relacionados con la excreción de ácidos orgánicos. (Ascencio & Lazo, 2001). En otras palabras, la mayor acidez del suelo Rizosférico se debe a la liberación de los exudados por parte de las raíces de las plantas en esta zona, por lo cual al haber un mayor porcentaje de materia orgánica el suelo se acidifica debido a que es una fuente de H⁺.

1. 2 Carbono orgánico en las muestras

Mediante la realización de los análisis de suelos se obtuvieron valores de 2.39 g/100g en suelo Rizosférico y 1.64 g/100g en suelo No Rizosférico, presentando entre ambas muestras una diferencia de 0.75 g/100g.

El suelo Rizosférico presenta una mayor concentración de carbono orgánico debido a materia orgánica incorporada por la descomposición de la flora y fauna, y también por efecto de las raíces de las plantas con la liberación de los exudados, siendo el carbono orgánico esencial para la actividad biológica en el suelo, presentando de esta manera una mejor actividad biológica el suelo Rizosférico.

El carbono orgánico afecta de igual manera al pH debido a un diverso de grupos activos que aportan grados a la acidez, a las bases de cambio y al contenido de nitrógeno presente en los residuos orgánicos aportados al suelo (Aguilera, 2000).

1. 3 Materia orgánica en las muestras

En cuanto a la materia orgánica los análisis de ambas muestras de suelo se obtuvo valores de 4.12 g/100g para suelo Rizosférico y 2.83 g/100g en el suelo No Rizosférico respectivamente, dando así una diferencia de 1.29 g/100g., por lo tanto, el suelo Rizosférico al presentar un mayor porcentaje de materia orgánica da una mejor accesibilidad de elementos nutricionales para la planta y directamente en la vecindad de la raíz. Todo esto se da por efecto de la elevada actividad microbiana presente en esta zona.

1. 4 Nitrógeno orgánico de las muestras

El suelo de la Rizosfera presenta un valor más elevado de nitrógeno a diferencia del suelo Con respecto al nitrógeno orgánico en las muestras, este presenta valores de 0.21 g/100g el suelo de la Rizosfera y 0.14 g/100g en el suelo No Rizosférico, habiendo entre estos dos valores una diferencia de 0.07 g/100g.

El suelo de la Rizosfera presenta un valor más elevado de nitrógeno a diferencia del suelo No Rizosférico, y esto se debe gracias a las micorrizas, ya que estas se encargan de fijar el nitrógeno inorgánico haciéndolo accesible directamente para las raíces de las plantas en la zona de la Rizosfera, por lo tanto, allí se encuentra una mejor condición para la planta porque hay una mayor disponibilidad de este elemento.

1. 5 Fósforo orgánico en las muestras

Mediante los análisis de suelo se lograron obtener los valores de 9 mg/kg (extractable) en el suelo Rizosférico y 4 mg/kg (extractable) en el suelo No Rizosférico. Presentando una diferencia de 5 mg/kg, lo que indica una mayor concentración de este elemento en suelo Rizosférico, habiendo un poco más del doble de fosforo que en suelo No Rizosférico.

La principal fuente de fosforo orgánico en el suelo está constituida por la materia orgánica, por consecuencia de la descomposición de residuos animales y vegetales.

El fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento vegetal, juega un papel muy importante en la fotosíntesis, en el transporte de nutrientes, en la síntesis y descomposición de glúcidos, síntesis de proteínas, actividad de las diastasas y como transmisor de energía (Alvaro, 2019).

De esta manera presenta una mejor condición para las plantas el suelo Rizosférico porque este presenta una mayor disponibilidad de fosforo orgánico por los factores previamente descritos y considerando que en suelos ácidos hay una mayor abundancia de fosforo en el suelo Rizosfera.

1. 6 Potasio orgánico en las muestras

El potasio en el suelo se encontró con valores moderadamente altos, presentando valores de 347 mg/kg en el suelo Rizosférico y 277 mg/kg en el suelo No Rizosférico. Entre ambos resultados se obtuvo una diferencia de 70 mg/kg, habiendo una mayor disponibilidad de potasio orgánico en el suelo Rizosférico.

Una de las principales fuentes de potasio es la ceniza y esto en el bosque universitario se da de forma natural al ocurrir incendios forestales, por lo que hay grandes cantidades de potasio en ambas muestras, pero al igual que el resto de los elementos, el suelo Rizosférico presenta una mayor concentración por la liberación de los exudados.

El potasio es un nutriente esencial para las plantas y es requerido en grandes cantidades para el crecimiento y la reproducción de las plantas, desempeñando un rol importante en la regulación del agua en las plantas (osmo-regulación), y también mejora la tolerancia de la planta al estrés hídrico (SmartFertilizer, 2020). Por lo tanto, el suelo Rizosférico al tener mayores concentraciones de potasio, presenta una mejor condición para el desarrollo y supervivencia de la planta.

1. 7 Calcio orgánico en las muestras

Los análisis de laboratorio muestran que el calcio orgánico en el suelo presenta una variabilidad en cuanto a ambas muestras. El suelo de Rizosfera contiene 858 mg/kg y el No Rizosférico contiene 740 mg/kg, habiendo entre ambas muestras una diferencia de 118 mg/kg, presentando así una mayor disponibilidad de este nutriente en el suelo Rizosférico.

Según (Buechel, 2020) el calcio es importante para la planta porque este es responsable de mantener unidas las paredes celulares de la planta.

1. 8 Magnesio orgánico en las muestras

Mediante los análisis de laboratorio se obtuvo resultados que indicaron la presencia de cantidades normales de magnesio, encontrando valores de 134 mg/kg en suelo Rizosférico y 115 mg/kg en el suelo no Rizosférico.

Entre ambas muestras se encontró la diferencia de 19 mg/kg, encontrándose una mayor disponibilidad de este nutriente en el suelo Rizosférico debido a los exudados y a la descomposición elevada de la materia por la gran cantidad de microorganismos presentes en la Rizosfera.

1. 9 Sodio orgánico en las muestras

En cuanto al sodio, los análisis de laboratorio mostraron una cantidad de sodio inferior en el suelo Rizosférico con un valor de 1 mg/kg, muy diferente a la muestra de suelo No Rizosférico que presentó un valor de 3 mg/kg, siendo este el triple de la cantidad existente en la zona de Rizosfera. Este elemento por lo general se encuentra en suelos alcalinos, en suelos No Rizosféricos, estos son menos ácidos y el suelo Rizosférico es más ácido, por esto existe una mayor cantidad de sodio en el No Rizosférico.

1. 10 Cobre orgánico de las muestras

La presencia del cobre en las muestras, presentó valores de 0.6 mg/kg en la muestra de suelo Rizosféricos y 0.5 mg/kg en la muestra de suelo No Rizosféricos, ambas muestras presentaron una diferencia de 0.1 mg/kg, de esta forma se confirma que por influencia de la Rizosfera en esta zona se encuentra una mayor disponibilidad de cobre orgánico disponible para las plantas de pino.

1. 11 Hierro en las muestras

Los análisis de laboratorio presentaron valores para el hierro de 206 mg/kg en la muestra de suelo de Rizosfera y 167 mg/kg en la muestra de suelo No Rizosférico respectivamente.

Encontrándose así 39 mg/kg más en suelo Rizosférico, teniendo este una mayor disponibilidad de hierro gracias al gran contenido de materia orgánica presente en este lugar por influencia de la Rizosfera.

1. 12 Manganeso en las muestras

En cuanto al manganeso, los análisis de laboratorio realizados a las muestras presentaron valores de 185 mg/kg en suelo Rizosférico y 124 mg/kg de manganeso (Mn) presentes en el suelo No Rizosférico, encontrándose así 61 mg/kg de Mn más en la muestra de suelo Rizosférico, de esta forma hay una mayor disponibilidad del nutriente para la planta en las vecindades de la raíz por influencia de la Rizosfera de la planta.

1. 13 Zinc en las muestras

De este elemento se obtuvieron los siguientes valores: 1.2 mg/kg presentes en la muestra de suelo Rizosférico y 0.5 mg/kg presentes en la muestra de suelo No Rizosférico. Hubo una diferencia de 0.7 mg de Zn que se encuentran en superioridad en la muestra de suelo Rizosférico (considerando que existe deficiencia de este en ambas muestras). Esto se da por el elevado contenido de materia orgánica presente en la zona de Rizosfera, por eso hay más zinc en zona de Rizosfera y también es importante mencionar que en suelos ácidos el zinc se encuentra en menores cantidades, por esto se observa una deficiencia en ambas muestras.

1. 14 Relación Carbono/Nitrógeno (C/N) de las muestras

Con respecto a la relación carbono nitrógeno se encontraron valores de 18.5 en suelo Rizosférico y 16.5 en el suelo No Rizosférico, presentando así una mejor

relación en el suelo de la zona de la Rizosfera, debido al elevado contenido de materia orgánica presente aquí.

La relación C/N influye en la descomposición de los materiales orgánicos, debido a que el N es un elemento muy importante en la actividad de los microorganismos.

La materia orgánica al igual que el carbono orgánico correlacionan de manera positiva y significativa con la relación C/N y carbono orgánico, significa que a mayor contenido de materia orgánica en el suelo existirá un incremento en la relación C/N determinado como el índice entre el contenido de C orgánico y N total, el cual, en cuanto mayor sea la relación C/N (>15) la liberación de N será muy escasa, lo que indica que la materia orgánica presente en los suelos exhibe un lento proceso de descomposición (Mora, Vásques, Zendejas, Ortiz, & Gallegos, 2016).

2. Resultados en base a los objetivos

2. 1 Condición nutricional existente en la zona de Rizosfera y los suelos No Rizosféricos

Se realizó un análisis de suelos de las muestras extraídas para determinar la condición nutricional existente entre ambas muestras y los resultados obtenidos fueron los siguientes:

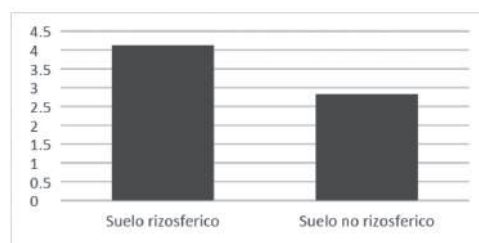


Gráfico 1. Contenido de materia orgánica presente en ambas muestras

En el gráfico 1 se observa la superioridad en el contenido de materia orgánica de la zona de la Rizosfera, representando este un 4.12 g/100g, contra 2.83 g/100g del suelo No Rizosférico.

Por lo tanto, al encontrarse esta significativa diferencia se confirma que en la zona de la Rizosfera existe una mejor condición nutricional para un desarrollo óptimo de las plantas.

El contenido nutricional obtenido entre ambas muestras en cada uno de sus elementos, influye directamente en el pH del suelo, dado que este está en función de la cantidad de estos.

2. 2 Relación Carbono/Nitrógeno entre ambos suelos

En cuanto a la relación C/N de ambas muestras, se obtuvo un valor más elevado la muestra de suelo Rizosférico, presentando un valor de 18.5, superior a la muestra del suelo No Rizosférico con un 16.5.

Esto se dio por el contenido de materia orgánica presente en la Rizosfera, que esto según estudios, a mayor contenido de materia orgánica, más elevada será la relación C/N, y esto nos indica que en la zona de Rizosfera hay una mejor descomposición de la materia orgánica y así dando una mejor disponibilidad de nutrientes para las raíces de la planta.

2. 3 Diferencia de los elementos encontrados de acuerdo al análisis entre ambos suelos

En cuanto a la diferencia de los elementos encontrados, los análisis del laboratorio dieron como resultado que la mayoría de los elementos se mostraron con superioridad

en la zona de la Rizosfera a excepción del sodio (Na). Esto gracias a que en las raíces del pino hay una actividad microbiana mucho más elevada, lo cual eleva el contenido de nutrientes disponibles en el suelo, modificando notablemente el pH del área influenciada, haciendo que sea el pH real en el ambiente que la planta se desarrolla.

DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos, la condición nutricional de la zona de la Rizosfera es mucho mejor que la de los suelos No Rizosféricos, esto debido a que en la Rizosfera hay un elevado número de microorganismos que se encargan de descomponer la materia orgánica para hacerla aprovechable para las plantas, esto también agregando los exudados que son liberados por las raíces de la planta que incorporan innumerables elementos nutricionales al suelo, en síntesis, la cantidad de materia orgánica en la Rizosfera es mayor.

En el análisis de la relación C/N se compararon los resultados que se obtuvieron de ambas muestras y se determinó que la relación C/N de la zona de la Rizosfera era la mejor, a que esta tenía un valor más elevado porque la presencia de materia orgánica era mayor.

Se determinó la diferencia de los elementos, encontrando una superioridad en los porcentajes de nutrientes del suelo de la Rizosfera en su mayoría, a excepción del sodio.

CONCLUSIONES

Se demostró la influencia que tienen las raíces de pino en el suelo en la zona de la Rizosfera, encontrándose una mayor cantidad de nutrientes disponibles para la planta gracias a la elevada cantidad de materia orgánica por los exudados.

Se determinaron las condiciones nutricionales entre ambas muestras y se obtuvo como resultado que la muestra de suelo Rizosférico presenta las condiciones favorables para el desarrollo del pino.

Al determinarse la relación Carbono/Nitrógeno a través de los análisis, se obtuvo una relación más elevada para el suelo Rizosférico. Esta relación está directamente relacionada con la materia orgánica, a mayor contenido de materia orgánica, mayor será la relación Carbono/Nitrógeno y con esto se obtuvo una relación suficiente para el consumo de los microorganismos, tanto de C como de N.

RECOMENDACIONES

Continuar realizando estos estudios en diferentes estratos del bosque de conífera de pino.

Tomar en cuenta la cantidad y tipo de nutrientes encontrados en la zona de la Rizosfera para la fertilización de los pinos.

Realizar esta investigación en los diferentes sitios del bosque universitario para conocer la variabilidad de nutrientes en cada Sector estratificado por Calidades de Sitio.

BIBLIOGRAFÍA

Aguilera, S. M. (2000). Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. Simposio Proyecto Ley Protección de Suelo. 77-85.

Alvaro, G. J. (2019). El fósforo y su importancia en el crecimiento vegetal. Obtenido de FERTIBOX: <https://www.fertibox.net/single-post/fosforo-agricultura>

Andrade Castro, B. A. (2019). Efectos de las actividades de control de la plaga del *Dendroctonus spp* sobre los procesos hidrológicos y edafológicos en el Bosque Universitario de la UNACIFOR. Universidad Nacional de Ciencias Forestales. Siguatepeque, Honduras.

Ascencio, J., & Lazo, J. V. (2001). Crecimiento y eficiencia de fósforo de algunas leguminosas cultivadas en arena regada con soluciones nutritivas con fosfatos inorgánicos de hierro y calcio. Revista de la facultad de agronomía, 18(1), 13 - 32.

Buechel, T. (29 de 9 de 2020). Rol del calcio en el cultivo de plantas. Obtenido de PROMIX: <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/rol-del-calcio-en-el-cultivo-de-plantas/>

Caly, L. (2014). BIOLOGIA DEL SUELO. Obtenido de Rizósfera: biologiadelsueloudea20132.blogspot.com/p/macrobiologia-del-suelo.html

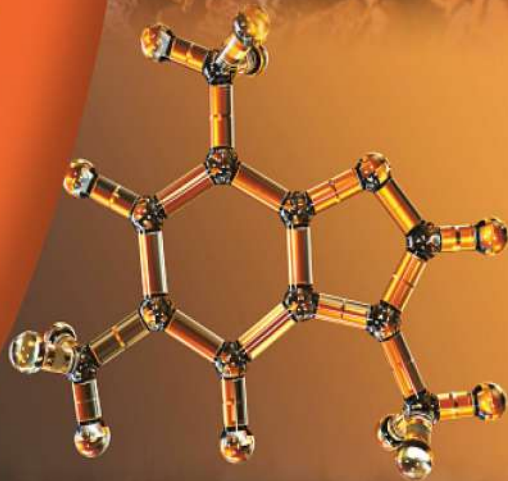
INE. (2018). COBERTURA FORESTAL. Instituto Nacional De Estadística, Francisco Morazán, Tegucigalpa. Obtenido de <http://icf.gob.hn>: <https://www.ine.gob.hn/V3/imag-doc/2020/01/Cobertura-Forestal-2014-2018-INE.pdf>

Kamilova, & Lugtenberg. (2009). <https://www.fertilab.com.mx>. Obtenido de <https://www.fertilab.com.mx>: <https://www.fertilab.com.mx/blog/230-la-importancia-de-la-Rizosfera/>

Kretzschmar, T. (2017). Estudio sobre la Regeneración Natural de las Áreas Afectadas. El chorrón de la cañada.

Mora, E., Vásques, M., Zendejas, H., Ortiz, E., & Gallegos, E. (2016). Evaluación del contenido de materia orgánica en suelos agrícolas y su relación carbono/nitrógeno. Revista Iberoamericana de Ciencias, 3(5), 98-105.

SmartFertilizer. (020). Potasio en las plantas
Obtenido de
<https://www.smart-fertilizer.com/es/articulos/potassium-in-plants/>.



4

**DETERMINACIÓN DE
CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS
DE TRES VARIIDADES DE
PULPA Y CASULLA DE *Coffea arabica*
PARA LA ELABORACIÓN
DE PÉLETS EN EL
MUNICIPIO DE SIGUATEPEQUE**



DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DE TRES VARIEDADES DE PULPA Y CASULLA DE *Coffea arabica* PARA LA ELABORACIÓN DE PÉLETS EN EL MUNICIPIO DE SIGUATEPEQUE

Mónica Jeaneth Álvarez Aguilar[§]

Tomás Mendoza[©]

Rubén Suazo^Ω

RESUMEN

La presente investigación consistió en determinar el potencial energético de tres variedades (catimor, IHCAFE-90, lempira) de pulpa y casulla de café para la elaboración de pélets. Se realizó un análisis estadístico (prueba de varianza, prueba de medias Fisher) donde se determinó que los poderes caloríficos de los pélets elaborados, presentan diferencias significativas entre sí, dando un promedio mayor de poder calorífico de 4,248.39 kcal/ kg del pélet a base de casulla de catimor y el menor de 3,587.01 kcal/ kg que corresponde al pélet a base de pulpa lempira.

Asimismo, se elaboró una escala de calidad basada en las características físicas y energéticas donde los pélets de casulla de catimor y casulla de IHCAFE-90 presentaron los mejores valores en lo que respecta al poder calorífico, contenido de cenizas, contenido de humedad, durabilidad mecánica, longitud y diámetro, por lo contrario, los pélets que presentaron las características con valores más bajos fueron los pélets a base de pulpa de IHCAFE-90 y pulpa lempira. Las características físicas y energéticas se evaluaron según normas internacionales de pélets aplicando los parámetros de la norma ISO en su serie 17225-6, con el fin de valorar cada uno de los ítems establecidos. Se determinó el contenido de humedad adecuado para cada subproducto de café, ya que es un parámetro básico en la transformación de la materia prima a pélets.

Palabras claves: Peléts, calidad, poder calórico

[§] Cel: 9719-8834 e-mail: monicalvarez177@gmail.com. *Autor para correspondencia

[©] Cel: 9469-9357 e-mail: tomalome@yahoo.es

^Ω Cel: 8970-8058 e-mail: suazo.rubenantonio@gmail.com

ABSTRACT

The present investigation consisted of determining the energy potential of three varieties (catimor, IHCAFE-90, lempira) of coffee pulp and chasuble for the production of pellets. A statistical analysis was performed (variance test, Fisher's mean test) where it was determined that the calorific powers of the pellets produced present significant differences among themselves, giving a higher average calorific power of 4,248.39 kcal/kg of the pellet based on catimor chasuble and the lowest of 3,587.01 kcal/kg that corresponds to the pellet based on lempira pulp.

Likewise, a quality scale was developed based on the physical and energetic characteristics where the catimor chasuble pellets and the IHCAFE-90 chasuble presented the best values with regard to calorific power, ash content, moisture content, mechanical durability, length and diameter, on the contrary, the pellets that presented the characteristics with the lowest values were the pellets based on IHCAFE-90 pulp and lempira pulp, the physical and energetic characteristics were evaluated according to international pellet standards applying the parameters of the ISO standard in its 17225-6 series, in order to assess each of the established items. The adequate moisture content was determined for each coffee by-product, since it is a basic parameter in the transformation of raw material to pellets.

Key words: Pellets, quality, colored power

INTRODUCCION

El agotamiento de los recursos fósiles y los impactos ambientales generados por el uso de los mismos, han dado origen a la implementación y estudio de nuevas fuentes de energía renovable como la biomasa.

Estas nuevas alternativas intentan además lograr por lo menos parcialmente la independencia energética de los derivados del petróleo y desplazar o modificar los métodos actuales de obtención de energía (Vargas, 2018).

Actualmente, la biomasa continúa teniendo un papel muy importante como fuente de energía renovable y no contaminante, especialmente en un mundo tan preocupado por los graves problemas medioambientales. Por otro lado, el hombre utiliza los llamados residuos forestales o agrícolas, que son aquellos recursos que se generan directamente en el campo o en la montaña de manera dispersa, para aprovechar la energía. Ya en nuestro siglo, el hombre también ha aprendido a recuperar diversas formas de energía, los cuales constituyen el caso singular de la biomasa (Estable, Roldán, & Samaniego, 2010).

Esta investigación tiene como fin aprovechar los subproductos de la producción de café realizando un estudio teórico y técnico determinando el potencial energético por medio de la elaboración de pélets.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción general del área de estudio

Siguatepeque está situada al norte de la Sierra de Montecillos, en la meseta central de Honduras. Se encuentra a una altitud de 1,000 a 1,200 msnm. Su ubicación geográfica es de 14°36' grados de latitud norte y 87°50' grados de longitud oeste, teniendo su municipio una extensión territorial de 606.5 km² (Carbajal, 2015).

Metodología utilizada en el campo

Recolección de la materia prima

La biomasa fue recolectada en la ciudad de Siguatepeque. La pulpa de la variedad de IHCAFE-90 fue obtenida del beneficio ubicado en la colonia Canadá junto con la pulpa y casulla de la variedad de café catimor. La pulpa de café lempira fue obtenida de una pequeña finca ubicada en Brisas del Bosque, la casulla de esta variedad de café fue recolectada en el Barrio Altos de Fátima en la Tostadora El Chapín. La casulla de la variedad de IHCAFE-90 fue obtenida de la finca Los Huatos ubicado en la Aldea de Chorreritas.

Secado de la materia prima

Las variedades de pulpa originalmente se encontraban en estado húmedo por todo el proceso de lavado que pasa el fruto del café, por lo tanto, se secó de manera natural exponiéndolo al sol durante una semana donde se obtuvo un contenido de humedad de 11% a 13%. Las variedades de casulla de café no necesitaron del proceso de secado, ya que al momento de la recolección dicha materia se obtuvo en estado seco, por lo que se procedió a tomar el contenido de cada variedad el cual varió entre un 6.5% a un 7.0%.

Proceso de pulverización

Las variedades de pulpa de café se procesaron por medio de un molino de martillo, donde dicha materia posteriormente paso al proceso de peletizado. La casulla también requirió del mismo proceso anteriormente indicado, ya que únicamente se pulverizó la materia para posteriormente realizar el proceso de peletizado.

Peletizado

El proceso de peletizado fue semejante para cada subproducto, donde se ingresaron cantidades controladas de materia a la máquina.

Las diferencias se basaron en el contenido de humedad de cada materia. Los pélets del subproducto a base de pulpa de IHCAFE-90 fueron elaborados bajo un contenido de humedad de un 12.5%, los pélets de la casulla de esta variedad se realizaron con un contenido de humedad de un 7%, al igual que los pélets a base de la variedad de casulla lempira. Los pélets a base de la pulpa lempira se realizaron con un contenido de humedad de un 13%, los pélets de la variedad de pulpa catimor con un 11% y los pélets a base de casulla catimor con un 6.5%. La máquina peletizadora, según el manual, acepta un contenido de humedad del 12% a un 25%, pero, sin embargo, la materia prima fue procesada con un contenido de humedad más bajo, ya que los contenidos de humedad con los que se realizó el peletizado de cada subproducto fue distinto al especificado para la máquina.

Metodología de laboratorio y/o oficina

Determinación del poder calorífico

Para dicho análisis se realizaron tres repeticiones por cada tipo de pélet, utilizando 0.8 gramos como muestra en cada una de las pruebas adiabáticas, debido a que el calorímetro adiabática marca Parr 6200 admite un rango de 0.5 a 1.0 gramo. Estos análisis calorimétricos fueron realizados en el laboratorio de biomasa de la empresa HGPC S.A de C.V. ubicada en Choloma, San Pedro Sula.

Determinación del contenido de cenizas

El contenido de ceniza se determinó previo a las pruebas calorimétricas realizadas con un medidor adiabático marca Parr 6200 y una balanza de precisión marca Carolina, haciendo una relación entre el peso de la muestra y sus residuos, es decir, una vez realizada la prueba adiabática se pesa el recipiente con la ceniza que queda en el plato después de la prueba.

Conociendo el peso de la muestra sometida a dicho experimento se aplicó la siguiente ecuación.

Ecuación 1. Cálculo del contenido de cenizas en los pellets.

$$Zh = \frac{m_{\text{cenizas}}}{m_{\text{total}}} \times 100$$

Donde: (Vargas, 2018)

Zh (%) = Porcentaje de ceniza de la muestra.

m_{ceniza} = Peso de la ceniza luego de la combustión, en gramos.

m_{total} = Peso de la muestra previo a la combustión, en gramos.

Contenido de humedad de los pélets

Para determinar el contenido de humedad de los pélets se utilizó un medidor marca AND ML-50 el cual requiere una muestra de 5 gramos para realizar la determinación. Los análisis del contenido de humedad de los pélets fueron realizados en los laboratorios de la empresa HGPC S.A de C.V.

Friabilidad de los pélets

La friabilidad de los pélets fue calculada de la siguiente manera: se lanzaron 10 pélets a una altura de 1 metro sobre una superficie de cerámica, luego se procedió a contar el número de unidades que resultaron después del lanzamiento, es decir, que se tomaron en cuenta todas las fracciones de pélets en caso de haber rupturas. Se realizaron las pruebas tres veces por cada tipo de pélet y posteriormente se aplicó la siguiente ecuación

Ecuación 2. Cálculo del valor de friabilidad.

$$FR = \frac{NF}{NI}$$

Donde: (Borbón, 2016)

FR= Friabilidad

NF= número de pélets al final del ensayo.

NI= número de pélets al inicio del ensayo.

El valor de FR siempre será mayor o igual a 1.

Durabilidad mecánica de los pélets

Para el cálculo de la durabilidad, en cada prueba realizada se tomaron tres pélets por cada tipo de materia prima, se pesaron haciendo uso de una balanza marca CS Series y se dejaron caer cuatro veces desde una altura de 1.85 m sobre una superficie lisa. En cada ensayo se tomó la parte de mayor tamaño excluyéndolo de la siguiente caída; al finalizar las cuatro pruebas se pesaron las partes restantes de la muestra, es decir, se descartaron los trozos de pélet de mayor tamaño. Se aplicó la siguiente ecuación.

Ecuación 3. Cálculo del porcentaje de durabilidad mecánica.

$$\% \text{ Durabilidad} = \frac{m_f}{m_i} \times 100$$

Donde: (Vargas, 2018)

m_i = Masa inicial, en gramos.

m_f = Masa final, en gramos.

Densidad de los pélets

Al momento de realizar este análisis se seleccionaron completamente al azar tres pélets de cada subproducto tratado. El peso se determinó haciendo uso de una balanza de alta precisión marca CS Series, determinando el mismo en gramos.

Para conocer el volumen de los mismos se aplicó la ecuación 4.

Ecuación 4. Volumen de un cilindro.

$$V = \pi r^2 x(h)$$

Donde: (Villanueva, 2014)

π : 3.1416

V: Volumen de un cilindro, en cm^3 .

r: Radio del cilindro, en cm.

h: Altura, en cm.

Ecuación 5. Cálculo de densidad.

$$\rho = \frac{P}{V}$$

Donde: (Borbón, 2016)

ρ = densidad expresada en gr/cm³.

P = peso en gramos.

V = volumen en cm³.

Dimensiones de los pélets

Se tomaron las mediciones en los pélets elaborados con su respectivo diámetro y longitud. Debido a que la variable longitud presentó una diferencia entre los tamaños en cada tipo de pélet, se tomó una muestra completamente al azar de 50 pélets por cada variedad de los mismos y se midió su longitud para posteriormente realizar un análisis con algunas variables estadísticas importantes, como ser la tendencia central y la variabilidad para tener una idea clara del comportamiento de los datos.

Escala de calidad de los pélets

Para obtener la escala de calidad de pélets se tomaron en cuenta todas las características energéticas contempladas por la Norma de Calidad Europea bajo las descripciones para los pélets de origen no leñoso de la norma ISO 17225-6.

Tabla 1. Características energéticas analizadas incluidas en la norma ISO 17225-6.

Características energéticas	Unidad
Diámetro y longitud	mm
Contenido de humedad	%
Contenido de cenizas	%
Durabilidad	%
Poder calorífico	kcal/kg. MJ/kg

Una vez determinadas las características se le asignó un puntaje a cada uno. La cantidad de nueve puntos a los valores cercanos al límite máximo establecido por la Norma, de igual forma se asignó un valor de seis puntos a aquellos valores que se encontraran entre de los parámetros de la norma. Se estableció también un valor de tres puntos a aquel resultado que no cumple con el valor señalado por la Norma Europea.

Análisis estadístico

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA), con 6 subproductos y 3 repeticiones. Los subproductos hacen referencia a las materias primas transformadas en pélets y las repeticiones a la cantidad de pruebas caloríficas que se realizaron a cada uno. El análisis estadístico consistió en determinar si presentaban o no diferencias significativas las mediciones de poder calorífico. El análisis se realizó haciendo uso del programa Minitab en el cual se determinaron las diferencias significativas por lo que se realizó una prueba de comparación de medias para determinar qué tipo de pélets presentaba los valores más altos y los más bajos en cuanto a sus medias caloríficas y las diferencias entre los mismo.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos durante el estudio se presentan a continuación en función de los objetivos establecidos en el mismo. Estos se centran en la formulación de una escala de calidad de pélets, la determinación de algunas propiedades energéticas y físicas básicas. Además de varios análisis realizados sobre los resultados obtenidos para sacar las conclusiones respectivas de la investigación realizada.

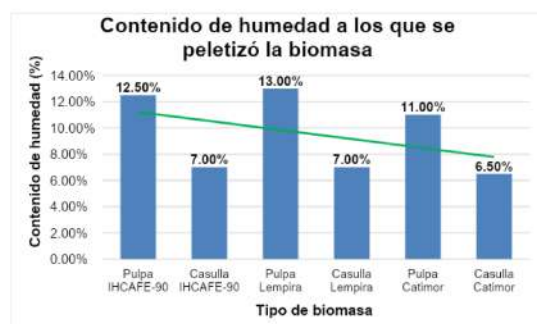
Determinación del contenido de humedad de los subproductos

Para la elaboración de los pélets se determinó el contenido de humedad idóneo para obtener dichos biocombustibles. Los tipos de materia utilizadas no respondieron al contenido de humedad requerido por la peletizadora, ya que los pélets obtenidos presentaron las características adecuadas como ser el brillo y buena estructura en el primer intento de peletizado realizado. La siguiente tabla muestra los contenidos de humedad a los que se peletizó la biomasa, además de los dos procesos por los que paso dicha biomasa.

Tabla 2. Contenido de humedad al que se peletizó la biomasa.

No.	Tipo de biomasa	Secado	Pulverizado	Contenido de humedad (%)
1	Pulpa IHCAFE-90	X	X	12.5%
2	Casulla IHCAFE-90		X	7.0%
3	Pulpa Lempira	X	X	13.0%
4	Casulla Lempira		X	7.0%
5	Pulpa Catimor	X	X	11.0%
6	Casulla Catimor		X	6.5%

Gráfico 1. Contenido de humedad al que se peletizó la biomasa.



Características energéticas determinadas y comparación con la Norma ISO 17225-6

Poder calorífico

Tabla 3. Poderes caloríficos de la biomasa.

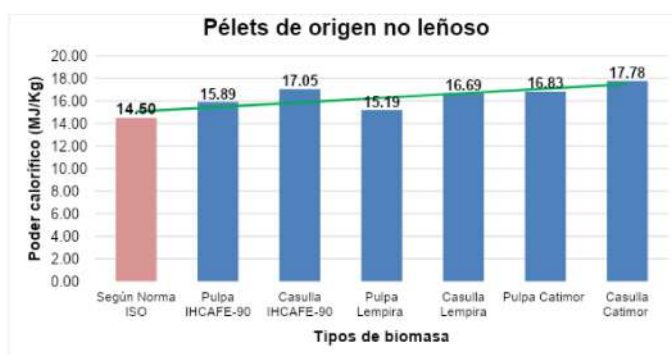
Pélets	Poder calorífico (kcal/ kg)				MJ/kg
	Muestra #1	Muestra #2	Muestra #3	Promedio	
Pulpa IHCAFE-90	3,863.93	3,759.29	3,789.64	3,804.29	15.92
Casulla IHCAFE-90	4,062.85	4,122.47	4,036.84	4,074.05	17.05
Pulpa Lempira	3,583.20	3,593.14	3,584.70	3,587.01	15.01
Casulla Lempira	3,884.84	4,047.40	3,980.47	3,970.90	16.61
Pulpa Catimor	4,015.01	4,021.68	4,030.77	4,022.49	16.83
Casulla Catimor	4,221.11	4,267.41	4,256.64	4,248.39	17.78

La Norma ISO 17225-6 define dentro de sus parámetros de calidad un valor mínimo en cuanto al poder calorífico como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Poder calorífico según la Norma ISO Pélets de origen no leñoso.

ISO 17225-6	
Poder Calorífico (MJ/kg)	Límite
	≥ 14.5

Gráfico 2. Comparativo del poder calorífico determinado en los pélets en base al poder calorífico mínimo señalado en la Norma de calidad ISO 17225- 6.



En la gráfica se muestra que todos los biocombustibles de origen no leñoso están por sobre el valor mínimo de poder calorífico señalado por la Norma ISO 17225-6, es decir, que los pélets cumplen con el valor sugerido por la misma.

Contenido de ceniza

El contenido de cenizas de acuerdo a la Norma ISO 17225-6 de pélets de origen no leñoso se muestran en la tabla 5.

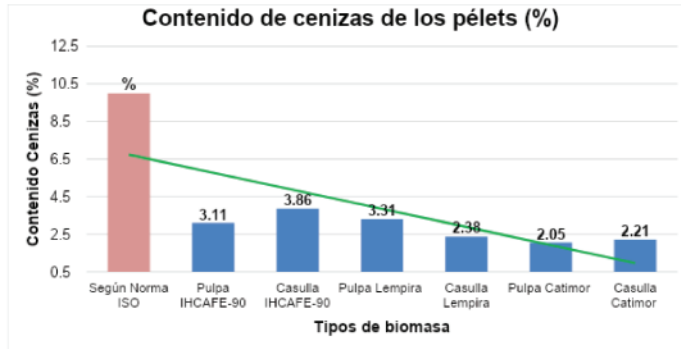
Tabla 5. Contenido de ceniza determinado en los pélets elaborados.

Nombre Biomasa	Contenido de cenizas muestra #1	Contenido de cenizas muestra #2	Contenido de cenizas muestra #3	Promedio total de cenizas (%)
Pulpa IHCAFE-90	5.34	0.25	3.73	3.11
Casulla IHCAFE-90	5.63	3.55	2.40	3.86
Pulpa Lempira	2.68	2.57	4.66	3.31
Casulla Lempira	2.57	2.42	2.15	2.38
Pulpa Catimor	2.38	2.48	1.30	2.05
Casulla Catimor	1.17	2.54	2.92	2.21

Tabla 6. Contenido de ceniza según la Norma Europea ISO 17225-6 de pélets de origen no leñoso.

ISO 17225-6	
Contenido de cenizas (%)	Límite
	≤ 10

Gráfico 3. Contenido de cenizas determinado en los pélets con el contenido de ceniza según la Norma ISO 17225-6.



De acuerdo a los resultados obtenidos y la comparación realizada, todos los pellets elaborados cumplen con los parámetros establecidos por dicha Norma con porcentajes debajo del 10%.

Contenido de humedad

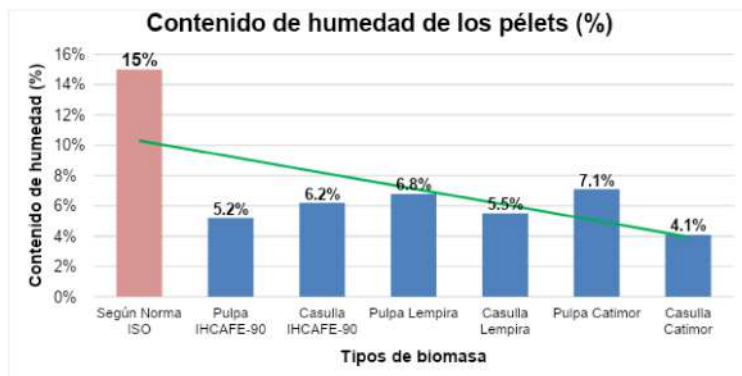
Tabla 7. Contenido de humedad determinado en los pélets.

Nombre y variedad de pélet	Contenido de humedad (%)
Pulpa IHCAFE-90	5.2%
Casulla IHCAFE-90	6.2%
Pulpa Lempira	6.8%
Casulla Lempira	5.5%
Pulpa Catimor	7.1%
Casulla Catimor	4.1%

Tabla 8. Contenido de humedad según la Norma Europea ISO pélets de origen no leñoso.

ISO 17225-6	
Contenido de humedad (%)	Límite
	≤ 15

Gráfico 4. Comparativo sobre el contenido de humedad determinado en los pélets con el contenido de humedad según la Norma Europea.



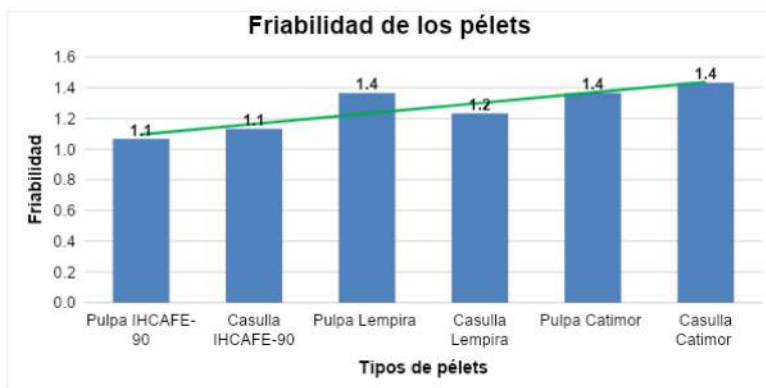
De acuerdo al gráfico 4 que muestra un comparativo del contenido de humedad máximo señalado por la Norma se puede observar que todos los pélets están por debajo de dicho límite, es decir cumplen con el valor sugerido.

Friabilidad

Tabla 9. Friabilidad de los pélets.

Nombre pélet	# de pélets al inicio de la prueba	Promedio final de las tres pruebas	Friabilidad
Pulpa IHCAFE-90	10	10.7	1.1
Casulla IHCAFE-90	10	11.3	1.1
Pulpa Lempira	10	13.7	1.4
Casulla Lempira	10	12.3	1.2
Pulpa Catimor	10	13.7	1.4
Casulla Catimor	10	14.3	1.4

Gráfico 5. Friabilidad de los pélets.



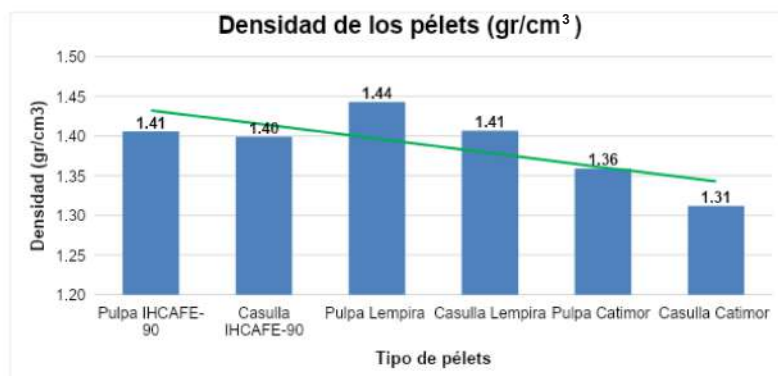
Densidad

La densidad en los pélets suele variar entre 1.0 y 1.2 g/ cm³.

Tabla 10. Densidad de los pélets.

Nombre Biomasa	Densidad #1	Densidad #2	Densidad #3	Promedio total de la densidad (gr/cm ³)
Pulpa IHCAFE-90	1.41	1.44	1.37	1.41
Casulla IHCAFE-90	1.40	1.44	1.36	1.40
Pulpa Lempira	1.45	1.45	1.43	1.44
Casulla Lempira	1.37	1.39	1.45	1.41
Pulpa Catimor	1.38	1.36	1.33	1.36
Casulla Catimor	1.39	1.32	1.22	1.31

Gráfico 6. Densidad de los pélets.



Según los resultados obtenidos sobre la densidad de los pélets de acuerdo a la literatura consultada, ninguna de las densidades se encuentra dentro del rango de 1.0 y 1.2 g/ cm³.

Durabilidad mecánica

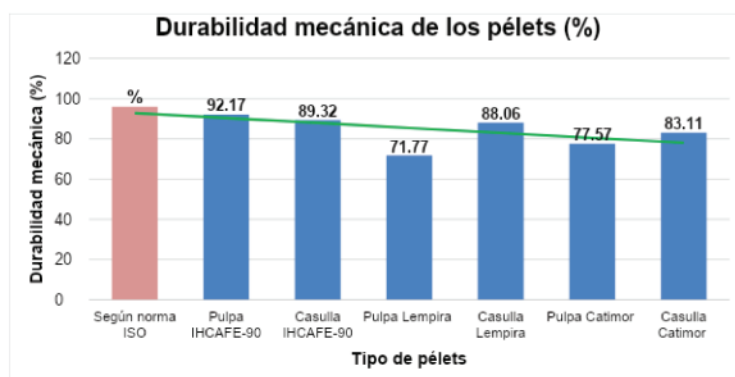
Tabla 11. Durabilidad mecánica de los pélets.

Nombre Biomasa	Durabilidad #1 (%)	Durabilidad #2 (%)	Durabilidad #3 (%)	Durabilidad #4 (%)	Promedio total de la Durabilidad (%)
Pulpa IHCAFE-90	85.42	100.00	85.11	98.15	92.17
Casulla IHCAFE-90	81.25	90.00	92.86	93.18	89.32
Pulpa Lempira	72.00	76.09	71.15	67.86	71.77
Casulla Lempira	90.00	76.79	100.00	85.45	88.06
Pulpa Catimor	72.09	63.16	88.37	86.67	77.57
Casulla Catimor	100.00	68.52	94.55	69.39	83.11

Tabla 12. Durabilidad mecánica según la Norma Europea, especificaciones para pélets de origen no leñoso.

ISO 17225-6	
Durabilidad mecánica (%)	Límite
	≥ 96

Gráfico 7. Comparativo del resultado de la durabilidad mecánica en los pélets y la durabilidad mecánica según la Norma ISO de pélets de origen no leñoso.



Según los resultados obtenidos en cuanto a la durabilidad mecánica de los pélets y el porcentaje de la durabilidad recomendada por la Norma ninguno de los pellets cumple con el valor del límite mínimo sugerido por la Norma.

Dimensiones de los pélets

La Norma europea describe las siguientes dimensiones para la calidad de los pélets: Diámetro de D06, 6 ± 1.0 o D08, 8 ± 1.0 mm y una longitud de $3.15 \leq L \leq 40$ pudiendo existir una variación en la longitud de los pellets de un 1% y permite una longitud máxima de 45 mm, por lo tanto, todos de los pélets elaborados cumple con la longitud y diámetro de acuerdo a los valores establecidos por la Norma Europea ISO 17225-6.

Tabla 13. Dimensiones de los pélets.

Nombre pélet	Diámetro (mm)	Longitud mínima/máximo (mm)
Pulpa IHCAFE-90	6	9.5–56.1
Casulla IHCAFE-90	6	24.0–60.5
Pulpa Lempira	6	27.8–51.8
Casulla Lempira	6	25.3–61.7
Pulpa Catimor	6	28.1–55.9
Casulla Catimor	6	21.9–60.7

Tabla 14. Resultados de la variedad de IHCAFE-90 de las medidas de tendencia central y de dispersión con respecto a la longitud de los pélets realizados.

Nombre pélet	Media	Desviación estándar	Coficiente variación	Mínimo	Máximo	Moda
Pulpa IHCAFE-90	27	9.83	36.42	9.5	56.1	28.3, 35.6
Casulla IHCAFE-90	41.84	9.62	23	24	61.5	30.6, 38.7, 51.2

Tabla 15. Resultados de la variedad de café Lempira de las medidas de tendencia central y de dispersión con respecto a la longitud de los pélets realizados.

Nombre pélet	Media	Desviación estándar	Coficiente variación	Mínimo	Máximo	Moda
Pulpa café lempira	36.38	6.384	17.55	27.80	51.80	34.1, 34.5, 35.7, 41.5
Casulla café lempira	43.15	9.44	21.87	25.30	61.70	50.1

Tabla 16. Resultados de la variedad de café Catimor de las medidas de tendencia central y de dispersión con respecto a la longitud de los pélets realizados.

Nombre pélet	Media	Desviación estándar	Coefficiente variación	Mínimo	Máximo	Moda
Pulpa café Catimor	39.57	5.959	15.06	28.10	55.90	42.4
Casulla Catimor	37.62	9.07	24.10	21.90	60.70	26.4, 30.0 31.7, 40.6

Análisis de varianza

El análisis de varianza para los poderes caloríficos de los pélets se determinó utilizando un Diseño Completamente al Azar (DCA) partiendo de los seis subproductos basados en los diferentes materiales utilizados para la elaboración de los pélets de los cuales se realizaron tres repeticiones a un nivel de significancia de 0.05%.

Tabla 17. Análisis de varianza realizada a los poderes caloríficos de los pélets elaborados.

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Valor P
Variedad de pélets	5	789295	157859	77.77	0.000
Error	12	24358	2030		
Total	17	813653			

Según los resultados obtenidos mostrados en la tabla 17 se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los promedios de poder calorífico de los seis subproductos utilizados, debido a que p es menor a 0.05.

Prueba de Fisher

Los subproductos de las tres distintas variedades de café presentan diferencias significativas, ya que, todos los promedios de los mismos donde interviene la misma letra estadísticamente no presentan diferencias significativas entre ellas. La siguiente tabla muestra a detalle los promedios de poder calorífico.

Tabla 18. Prueba de comparación múltiple de medias Fisher para los poderes caloríficos de los pélets elaborados.

Variedad	N	Media	Agrupación
Casulla catimor	3	4248.39	A
Casulla 90	3	4074.05	B
Pulpa catimor	3	4022.49	B C
Casulla lempira	3	3970.90	C
Pulpa café 90	3	3804.29	D
Pulpa lempira	3	3587.01	E

Como se puede observar en la tabla el pélets que obtuvo el promedio de poder calorífico mayor fue el de la variedad de casulla de catimor y el pélets de la variedad de pulpa lempira el que obtuvo el promedio el poder calorífico menor.

Escala de calidad de los pélets

La siguiente tabla muestra el orden de los resultados obtenidos de la escala de calidad realizada a cada uno de los pélets elaborados.

Tabla 19. Orden de la calidad de los pélets elaborados.

Nombre	Poder calorífico (Puntaje)	Contenido humedad (Puntaje)	Contenido cenizas (Puntaje)	Durabilidad (Puntaje)	Diámetro (Puntaje)	Longitud (Puntaje)	T
Casulla catimor	9	9	9	3	9	9	52
Casulla IHCAFE-90	9	9	9	3	9	6	48
Pulpa catimor	6	9	9	3	9	9	48
Pulpa lempira	6	9	9	3	9	9	48
Pulpa IHCAFE-90	6	9	9	3	9	9	48
Casulla lempira	6	9	9	3	9	6	44

La tabla 19 muestra que el pélet que obtuvo los mejores resultados en base a la escala de calidad aplicada es el pélet a base de la variedad de casulla catimor, ya que fue el que presentó las mejores características energéticas señaladas dentro de la norma de calidad, con lo que respecta a la característica de la durabilidad es importante aclarar que ninguno de los pélets cumplió con esta característica. Cabe mencionar que el pélet de casulla de IHCAFE-90 que ocupa la posición dos dentro del orden de la escala de calidad mostró una mínima diferencia con el de casulla de catimor.

CONCLUSIONES

Se determinó el contenido de humedad de las variedades de pulpa y casulla de café con el fin de obtener el contenido de humedad adecuado para cada subproducto donde, debido a los resultados obtenidos ninguno de estos tuvo que ser alterado, ya que en el primer intento los pélets obtuvieron las características esperadas como ser el brillo y buena estructura lo que significa que estos subproductos presentan ventajas, debido a la facilidad con la que pueden ser transformados a pélet, ya que los procesos (secado, pulverizado y pelletizado) que se implementaron en la transformación de la biomasa a pélets resultaron exitosos.

Además, este fue uno de los factores más importantes a controlar, desde la adecuación de la materia prima en un lugar adecuado, hasta el almacenamiento de los pélets donde se utilizaron bolsas herméticas.

La determinación de las características energéticas señala que los subproductos cumplen, en general, con la normativa para la producción de pélets a partir de ellas. El margen de error de algunas características como ser la durabilidad mecánica de los pélets resultó ser insignificante en comparación a los valores establecidos por la norma ISO 17225, dando como resultado que el resto de las características como ser el poder calorífico, el contenido de cenizas, el contenido de humedad, se encuentran dentro del límite establecido por la norma ISO 17225-6. Además, se utilizó el análisis de varianza (ANDEVA) para determinar si existen diferencias significativas entre los poderes caloríficos de las diferentes variedades de pulpa y casulla de café estudiados, donde finalmente se concluye que se rechaza la hipótesis nula, ya que, si existen diferencias significativas entre los poderes caloríficos de los pélets elaborados a partir de desechos de pulpa y casulla de café.

En base a la escala de calidad de pellets realizada, los pélets que presentaron las mejores características energéticas fueron los pélets a base de casulla de catimor y casulla de IHCAFE-90, ya que, estos obtuvieron los valores por sobre los definidos por la norma de calidad europea como ser el poder calorífico, contenido de cenizas, contenido de humedad, durabilidad mecánica y las dimensiones de los pélets, seguido de este se encuentran los pélets a base de pulpa de catimor, casulla lempira, pulpa de IHCAFE-90 y finalmente la pulpa de café lempira, los tres últimos pélets no resultaron ser los mejores dentro de la escala de calidad puesto que presentaron deficiencias en las características energéticas y físicas como por ejemplo la durabilidad mecánica según la norma, pero sin embargo, en términos generales los pélets elaborados presentaron valores favorables en la mayoría de las características evaluadas.

BIBLIOGRAFÍA

Borbón, G. M. (2016). Giancarlo Montero Borbón - Ingeniería de Biosistemas.

Obtenido de

<https://www.ingbiosistemas.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/2017/05/Tesis-GiancarloMontero.pdf>

Carbajal, M. L. (Abril de 2015). Siguetepeque, Comayagua - atlas municipal.

Obtenido de

<http://www.atlasmunicipal.org/sites/default/files/0318%20Siguetepeque%20Atlas%20Forestal%20Municipal.pdf>

Estable, A. A., Roldán, F. J., & Samaniego, R. N. (2010). La biomasa | Rincón Educativo. Obtenido de

<http://www.rinconeducativo.org/es/recursos-educativos/la-biomasa>

Vargas, A. (2018). Estudio de la producción de pellets a partir de borra de café.

Obtenido de

<http://bdigital.unal.edu.co/70087/1/Tesis%20de%20maestr%C3%ADa.pdf>

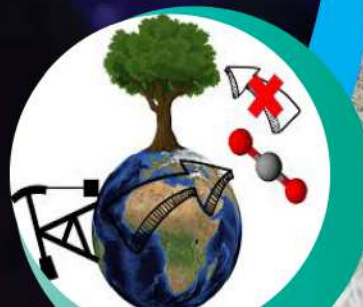
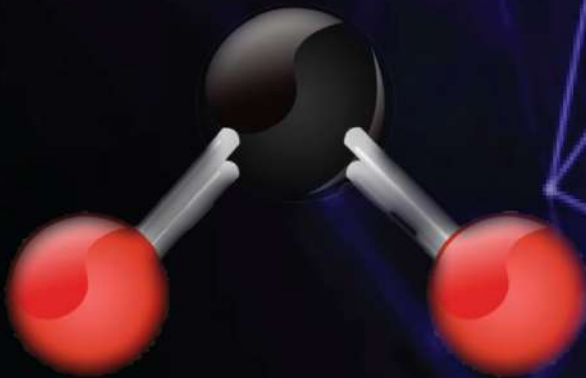
Villanueva, V. (2014). Calcular volumen . Obtenido de

<http://www.calcularelvolumen.com/cilindro.htm>



5

PROPUESTA METODOLOGICA PARA CONTRIBUIR
A LA TOMA DE DECISIONES EN LA REDUCCION
DE LOS GEI's Y RESTAURACION
DE AREAS FRAGILES A DESLIZAMIENTOS



PROPUESTA METODOLOGICA PARA CONTRIBUIR A LA TOMA DE DECISIONES EN LA REDUCCION DE LOS GEI's Y RESTAURACION DE AREAS FRAGILES A DESLIZAMIENTOS

César Augusto Alvarado Borjas^Σ

RESUMEN

A nivel mundial la emisión de gases de efecto invernadero es una de las mayores preocupaciones ante el cambio climático, por un lado, y por otro, las inundaciones que están provocando las altas tasas de deforestación y la constante pérdida de suelo a causa de los deslizamientos, sin una clara política de cómo prevenirla y restaurarla. Se desarrollan dos procedimientos de cómo, con un planteamiento técnico de planificación, cuantificar la superficie equivalente a reforestar tomando como base la información de emisiones de GEI's provocada por la flota vehicular en Honduras y la potencialidad calorífica que la biomasa forestal representa.

Se identifican los procedimientos como Procedimiento de Emisiones Térmicas y Procedimiento de Emisiones de CO₂. Con la información de biomasa utilizada en este trabajo, la superficie anual a reforestar es muy superior utilizando el criterio de Emisiones de CO₂; esta diferencia permite reducirse, igualarse e incluso superarse si se selecciona la especie adecuada para cada ecosistema, con mayores características de acumulación de biomasa y/o mayor poder calorífico. Se plantea estos mecanismos para considerar bases técnicas en los negocios de carbono, asegurando su conservación y permanencia al utilizar como áreas a reforestar, aquellas frágiles y con deslizamientos.

Palabras clave: CO₂, poder calorífico, reforestación, planificación, contaminación, biomasa

^Σ Coordinador Carrera Energía Renovable. Universidad Nacional de Ciencias Forestales. Honduras

ABSTRACT

Globally, the emission of greenhouse gases is one of the greatest concerns regarding climate change, on the one hand, and on the other, the floods that are causing high rates of deforestation and the constant loss of soil due to landslides, without a clear policy on how to prevent and restore it. Two procedures are developed on how, with a technical planning approach, to quantify the equivalent area to be reforested based on the information on GEI's emissions caused by the vehicular fleet in Honduras and the calorific potential that forest biomass represents.

The procedures are identified as the Thermal Emissions Procedure and the CO₂ Emissions Procedure. With the biomass information used in this work, the annual area to be reforested is much higher using the CO₂ Emissions criterion; This difference can be reduced, equalized and even exceeded if the appropriate species is selected for each ecosystem, with greater characteristics of biomass accumulation and / or greater calorific value. These mechanisms are proposed to consider technical bases in carbon businesses, ensuring their conservation and permanence when using as areas to be reforested, those that are fragile and with landslides.

Key words: CO₂, calorific value, reforestation, planning, pollution, biomass

INTRODUCCIÓN

Países en vías de desarrollo como es el caso de Honduras, periódicamente y a veces en forma permanente, presentan problemas de vulnerabilidad ambiental, contaminación, deforestación, abastecimiento energético y desempleo, fundamentalmente en el área rural.

Bases teóricas y conceptuales se disponen, con abundante información resultante de la identificación de los problemas, pero que lamentablemente los planes de un pretendido desarrollo se presentan a nivel de estudios y otros con inversiones y esfuerzos aislados, creando mecanismos instrumentales que tienden a solucionar los problemas generados, pero en muy pocas ocasiones a prevenirlos.

De igual forma, en este trabajo se presenta una propuesta más que trata de hacer uso de la información generada, utilizar las bases teóricas de la ciencia y proponer soluciones.

METODOLOGÍA

La información utilizada procede de 3 estudios: *i*) la contaminación generada durante más de una década por uso de combustibles tradicionales utilizados en el transporte y uso doméstico (gasolina, diésel y gas LPG) (Flores, 2020), *ii*) producción de biomasa y poder calorífico de una plantación con fines energéticos (Pérez, 2020), y *iii*) áreas susceptibles a la erosión y erosionadas (Ahmdanech, 2003).

Los datos de las emisiones generadas por los combustibles fósiles y gas LPG corresponden para el periodo 2005 al 2020 (16 años) expresados en toneladas de CO₂ así como en unidades térmicas (Tera Joules) en forma anual.

Para mitigar o compensar esta contaminación generada, se utilizó la información de una plantación establecida con fines energéticos de la especie *Perymenium grande* sin tratamiento cultural alguno, con una producción promedio de 10.5 toneladas por hectárea por año, producción que incluye el fuste, hojas y ramas, el cual combinado contiene un poder calorífico de 4,178.67 al 18% de contenido de humedad.

Haciendo uso de del proceso químico de la combustión de la biomasa $n(C_6H_{10}O_5) + n_6CO_2 \rightarrow n_6CO_2 + n_5H_2O$ y considerando el principio de que 1 mol de cualquier compuesto es igual al número de Avogadro de moléculas ($6.0235 \cdot 10^{23}$), 1 kilogramo de celulosa, compuesto principal de la madera, presenta la relación $1kg(C_6H_{10}O_5) + 1.19kg CO_2 \rightarrow 1.63kg CO_2 + 0.56kg H_2O$, lo cual consideramos que en promedio 1 kilogramo de madera combustionada produce 1.63 kilogramos de CO_2 , lo que equivale a que 1 tonelada de madera produce 1.6135 toneladas de CO_2 , por tanto, 1 tonelada de Carbono equivale a 3.67 toneladas de CO_2 . Como cada molécula-gramo de CO_2 pesa 44 gramos frente a los 12 gramos que contiene de carbono el CO_2 por cada kilogramo de madera, medido en materia seca, se fijan $44/12 = 3.67$ kilogramos de CO_2 (C=12, O=16 y $CO_2 = 44$ (Norverto, 2003).

La fracción de carbono utilizada para la biomasa aérea para latifoliados se utilizó la determinada por el IPCC de 50%, citado por Orellana, *et al* (Orellana, 2012). Con la anterior, para la determinación del peso de CO_2 fijado, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Peso } CO_2 \text{ fijado}_{\frac{\text{toneladas}}{\text{hectárea}}} = 3.67 * 0.50 * \text{Peso biomasa}_{\frac{\text{toneladas}}{\text{hectárea}}}$$

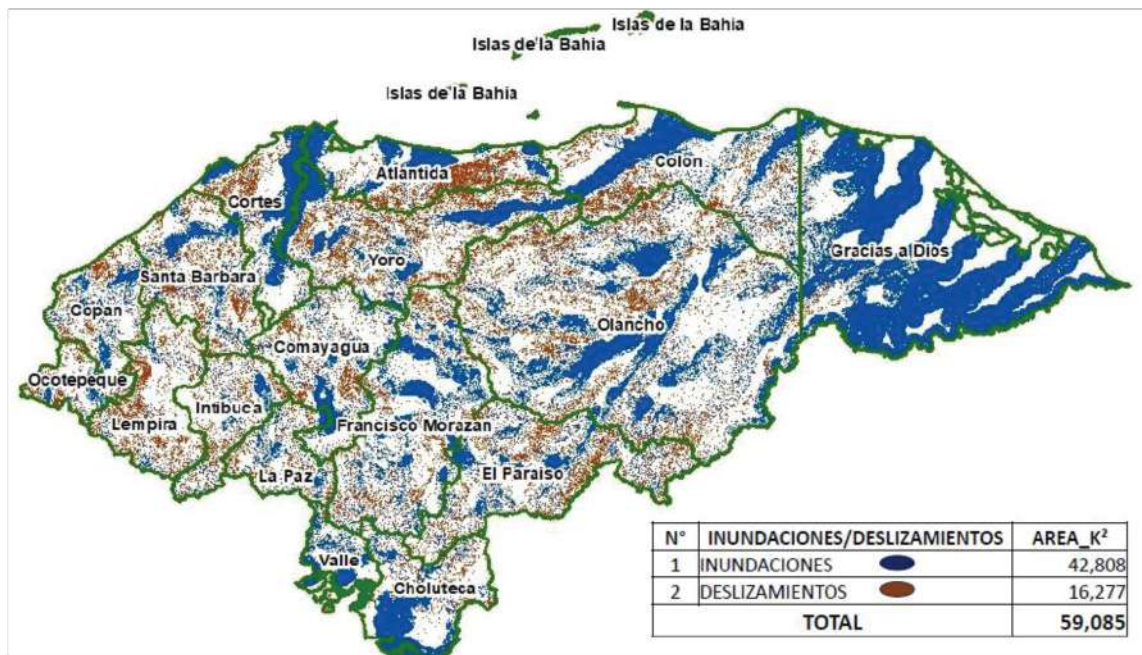
AÑO	Gasolina		Diesel		LPG		TOTAL	
	TJ*	tCO ₂ **	TJ	tCO ₂	TJ	tCO ₂	TJ	tCO ₂
2005	11,685.97	853,075.83	17,124.33	1280,899.77			28,810.30	2133,975.60
2006	11,004.85	803,354.20	15,598.69	1166,782.27			26,603.54	1970,136.47
2007	16,743.66	1222,287.28	21,840.00	1633,631.99			38,583.66	2855,919.27
2008	18,539.30	1353,368.96	22,283.34	1666,793.58			40,822.64	3020,162.54
2009	18,806.90	1372,903.50	20,700.84	1548,423.07	1.99	130.42	39,509.73	2921,456.99
2010	20,675.70	1509,325.97	21,791.09	1629,973.81			42,466.79	3139,299.78
2011	20,108.70	1467,934.81	21,269.83	1590,982.92			41,378.53	3058,917.73
2012	20,596.17	1503,520.76	22,301.23	1668,131.94	1.19	78.25	42,898.59	3171,730.95
2013	18,115.04	1322,398.16	20,258.30	1515,320.97			38,373.34	2837,719.13
2014	21,282.06	1553,590.71	23,060.27	1724,908.15			44,342.33	3278,498.86
2015	24,474.14	1786,611.90	25,562.44	1912,070.36			50,036.58	3698,682.26
2016	24,803.18	1810,632.18	30,597.96	2288,727.28	7.84	514.53	55,408.98	4099,873.99
2017	26,106.19	1905,751.81	28,032.38	2096,821.91	25.22	1,654.13	54,163.79	4004,227.85
2018	27,098.42	1978,184.73	28,065.21	2099,277.33	18.59	1219.64	55,182.22	4078,681.70
2019	28,128.19	2053,357.53	28,098.90	2101,797.94	23.43	1,536.74	56,250.52	4156,692.21
2020	29,195.02	2131,236.28	28,132.60	2104,318.55	29.51	1,936.17	57,357.13	4237,491.00

Para mantener uniformidad en las medidas energéticas de la biomasa y las emisiones de gases, en nuestro medio generalmente al potencial energético de la biomasa es expresada en kilocalorías, por lo cual en la siguiente tabla los valores anuales de las emisiones emitidas son transformadas en kilocalorías.

AÑO	Kilocalorias
2005	2,791,146,968,586.57
2006	2,628,464,194,007.85
2007	3,999,155,898,230.46
2008	4,428,037,295,553.30
2009	4,491,952,480,068.90
2010	4,938,307,849,361.70
2011	4,802,882,178,134.70
2012	4,919,312,428,492.77
2013	4,326,704,499,654.24
2014	5,083,134,498,400.86
2015	5,845,549,977,431.34
2016	5,924,139,859,019.58
2017	6,235,358,560,722.39
2018	6,472,348,708,450.02
2019	6,718,305,134,304.39
2020	6,973,113,192,214.62

Para la proyección de los siguientes 18 años, fijado como la meta de reducción de emisiones contemplada en la Visión de País 2010-2039 y Plan de Nación 2010-2022 (Honduras, 2010), se utilizó el 2% emitido anualmente en los últimos años de la información utilizada.

Las superficies frágiles que producen deslizamiento son del orden de 1,627,700 hectáreas a nivel nacional, que son de prioridad para establecer una cobertura forestal en este estudio. (Ahmdanech, 2003).



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

RESULTADOS

Superficie a reforestar en base a las emisiones térmicas

En la determinación de estos valores de la superficie a reforestar se parte de las emisiones históricas durante el periodo 2005 al 2020, utilizando el poder calorífico de la especie considerada (*Perymenium grande*) correspondiente a 4,178.67 kilocalorías por kilogramo, asumiendo la producción anual constante de 10.5 toneladas por hectárea (Pérez, 2020).

Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

AÑO	Kilocalorías equivalentes "emitidas"	Superficie, en hectáreas, equivalentes
2005	2,791,146,968,586.57	63,614.38 ²
2006	2,628,464,194,007.85	59,906.60
2007	3,999,155,898,230.46	91,146.70
2008	4,428,037,295,553.30	100,921.55
2009	4,491,952,480,068.90	102,378.27
2010	4,938,307,849,361.70	112,551.37
2011	4,802,882,178,134.70	109,464.82
2012	4,919,312,428,492.77	112,118.44
2013	4,326,704,499,654.24	98,612.02
2014	5,083,134,498,400.86	115,852.18
2015	5,845,549,977,431.34	133,228.77
2016	5,924,139,859,019.58	135,019.95
2017	6,235,358,560,722.39	142,113.08
2018	6,472,348,708,450.02	147,514.44
2019	6,718,305,134,304.39	153,120.15
2020	6,973,113,192,214.62	158,927.61

Esta emisión proyectada a los 18 años siguientes, considerando el incremento del 2% anual en "emisiones" se presenta en la siguiente tabla:

AÑO	Kilocalorías equivalentes "emitidas"	Superficie, en hectáreas, equivalentes a la emisión	Superficie, en hectáreas, a reforestar
2021	7,112,575,456,058.91	162,106.16	162,106.16
2022	7,254,826,965,180.09	165,348.28	3,242.12
2023	7,399,923,504,483.69	168,655.25	3,306.97
2024	7,547,921,974,573.37	172,028.35	3,373.10
2025	7,698,880,414,064.83	175,468.92	3,440.57
2026	7,852,858,022,346.13	178,978.30	3,509.38
2027	8,009,915,182,793.05	182,557.86	3,579.57
2028	8,170,113,486,448.92	186,209.02	3,651.16
2029	8,333,515,756,177.89	189,933.20	3,724.18
2030	8,500,186,071,301.45	193,731.86	3,798.66
2031	8,670,189,792,727.48	197,606.50	3,874.64
2032	8,843,593,588,582.03	201,558.63	3,952.13
2033	9,020,465,460,353.67	205,589.80	4,031.17
2034	9,200,874,769,560.75	209,701.60	4,111.80
2035	9,384,892,264,951.96	213,895.63	4,194.03
2036	9,572,590,110,251.00	218,173.55	4,277.91
2037	9,764,041,912,456.02	222,537.02	4,363.47
2038	9,959,322,750,705.14	226,987.76	4,450.74

² Como procedimiento, el valor obtenido para el año 2005 se obtiene mediante la siguiente relación:

$$\frac{\text{Kilocalorías emitidas}}{\text{Poder calorífico} \cdot \text{producción de biomasa} \cdot 1000} = \frac{2,791,146,968,586.57 \text{ kcal}}{4,178.67 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \cdot 10.5 \frac{\text{ton}}{\text{ha}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{ton}}} = 63,614.38 \text{ has}$$

Para el año 2021 se deben reforestar 162,106.16 hectáreas, las cuales forman la base para almacenar kilocalorías. En los años siguientes esta base ya está establecida, pues la masa forestal es fábrica y producto a la vez, la cual continuará creciendo a esa tasa de un supuesto constante de producción y para los años siguientes únicamente se deberán reforestar la diferencia de ese 2% anual.

Superficie a reforestar en base a las emisiones de CO₂

El punto de partida son las toneladas de CO₂ emitidas anualmente, utilizando la constante 19.27 derivada de la relación $\text{Peso CO}_2 = 3.67 * 0.5 * \text{Peso de la biomasa}$. Los resultados para los valores históricos se presentan en la siguiente tabla:

AÑO	tCO ₂ emitidas	Peso CO ₂ fijado	Superficie, en hectáreas, equivalentes
2005	2,133,975.60	19.27	110,755.19 ³
2006	1,970,136.47	19.27	102,251.80
2007	2,855,919.27	19.27	148,224.69
2008	3,020,162.54	19.27	156,749.06
2009	2,921,456.99	19.27	151,626.16
2010	3,139,299.78	19.27	162,932.39
2011	3,058,917.73	19.27	158,760.49
2012	3,171,730.95	19.27	164,615.59
2013	2,837,719.13	19.27	147,280.09
2014	3,278,498.86	19.27	170,156.94
2015	3,698,682.26	19.27	191,964.82
2016	4,099,873.99	19.27	212,787.02
2017	4,004,227.85	19.27	207,822.91
2018	4,078,681.70	19.27	211,687.13
2019	4,156,692.21	19.27	215,735.94
2020	4,237,491.00	19.27	219,929.47

³ Como procedimiento, el valor obtenido para el año 2005 se obtiene mediante la siguiente relación:

$$\frac{2,133,975.60 \text{ tCO}_2}{19.27 \text{ ton de CO}_2/\text{ha}} = 110,755.19 \text{ has}$$

Proyectados para el periodo 2021 al 2038, la superficie necesaria para compensar esta emisión de CO₂ generada, se presenta en la siguiente tabla:

AÑO	tCO ₂ emitidas	Superficie, en hectáreas, equivalentes a la emisión	Superficie, en hectáreas, a reforestar
2021	4,322,240.82	224,328.06	224,328.06
2022	4,408,685.64	228,814.62	4,486.56
2023	4,496,859.35	233,390.91	4,576.29
2024	4,586,796.54	238,058.73	4,667.82
2025	4,678,532.47	242,819.90	4,761.17
2026	4,772,103.12	247,676.30	4,856.40
2027	4,867,545.18	252,629.83	4,953.53
2028	4,964,896.08	257,682.42	5,052.60
2029	5,064,194.00	262,836.07	5,153.65
2030	5,165,477.88	268,092.79	5,256.72
2031	5,268,787.44	273,454.65	5,361.86
2032	5,374,163.19	278,923.74	5,469.09
2033	5,481,646.45	284,502.22	5,578.47
2034	5,591,279.38	290,192.26	5,690.04
2035	5,703,104.97	295,996.11	5,803.85
2036	5,817,167.07	301,916.03	5,919.92
2037	5,933,510.41	307,954.35	6,038.32
2038	6,052,180.62	314,113.44	6,159.09

Similar al criterio por emisiones térmicas, la “fabrica” para capturar el CO₂ corresponde a las plantaciones forestales, creando un capital base que crece, en este caso a un supuesto de crecimiento constante, correspondiendo a reforestar las diferencias correspondientes a esa emisión del 2% anual en los años subsiguientes.

DISCUSION

La superficie a reforestar anualmente difiere sus resultados dependiendo del procedimiento utilizado. El denominado “por emisiones térmicas” la superficie reforestada durante 18 años (2021 al 2038) es de 226,987.76 hectáreas; al utilizar el procedimiento en base a “emisiones de CO₂”, este valor es de 314,113.44 hectáreas, con una diferencia de 87,125.68 hectáreas.

Esta diferencia es consecuencia del tipo de biomasa utilizada, que es parte del mundo real en cuanto al tipo de especie, su adaptación y crecimiento en determinado ecosistema. Esta variable “especies es modificable en cuanto a conocimiento de ellas y fortalecimiento en encontrar las especies indicadas a través de la investigación.

El elemento CO₂ no es modificable, por tanto, si se quisieran equiparar valores, aunque no sería muy significativo el hacerlo, si es la especie disponible, sería reforestar con una especie con un poder calorífico de 3600 kcal/kg y una producción anual de biomasa de 8.8 toneladas por hectárea, por ejemplo, aunque se dan diferentes combinaciones.

Indudablemente, si la política de reforestar para mitigar los efectos de los GEI's, lo interesante será utilizar especies con alto valor calorífico y altos niveles de producción de biomasa, por ejemplo una especie que produzca 25 toneladas por hectárea por año y una capacidad calorífica de 4,800 kilocalorías por kilogramo, el área total a cultivar en los 18 años sería de 82,994.36 hectáreas, con una reducción de 143,993.40 hectáreas, valor muy significativo que debe ser considerado para la toma de decisiones y mantener un programa intensivo de investigación para este propósito.

Considerando como constante el valor de 1,627,700 hectáreas con alto riesgo y con deslizamientos, en la formación de la cobertura boscosa durante los 18 años con la especie seleccionada en el presente trabajo, utilizando el criterio de "emisiones térmicas" se cubre el 13.95%, y al utilizar el criterio de "emisiones de CO₂", se cubre el 19.30%.

Debe tenerse claro que el volumen de biomasa utilizado en estos cálculos, está basado en el primer año de plantación, el cual, considerando la función de crecimiento, en los próximos años este volumen se irá incrementando hasta cierta edad, en donde irá desarrollándose a una tasa decreciente, hasta estabilizarse.

CONCLUSIONES

Los efectos del cambio climático son evidentes a nivel global. Para nuestro medio, es importante pasar de la preocupación a la acción, con iniciativas que conjuguen aspectos que siempre estarán consideradas en las agendas de las políticas nacionales: seguridad ambiental y social.

Dependiendo del criterio utilizado, los valores de hectáreas a reforestar generalmente serán diferentes por las especies utilizadas y el cambio en el tiempo, debido a los factores de crecimiento. Si se estandariza al criterio de "emisiones de CO₂", se optimiza la reducción de hectáreas a reforestar si se seleccionan especies con alta densidad, las cuales acumulan mayor peso por unidad de volumen.

Si lo que se persigue es disponer mayor superficie a reforestar, basados en conocimientos técnicos, será interesante utilizar el criterio de "emisiones térmicas".

La presente propuesta puede ser un instrumento en el negocio de "Bonos de Carbono" como un mecanismo muy eficiente para disponer de recursos financieros, puesto que permite cubrir las inversiones de formar la cobertura boscosa, contribuyendo a mitigar los GEI's, así como restaurar áreas sujetas a deslizamiento, y algo muy importante, la generación de empleo, fundamentalmente en el área rural.

Indudablemente, una acción de este tipo requiere de un involucramiento muy importante en las instituciones del nivel superior, en donde la investigación es su función mas importante en la formación del profesional con las competencias necesarias para los fines que las instituciones persiguen.

Referencias Bibliográficas

- Ahmdanech, I. A. L. (2003). Un procedimiento para elaborar mapas de riesgos naturales aplicado a Honduras. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, Madrid, 19.
- Flores, M. E. (2020). Emisiones de GEI's por la flota vehicular en Honduras aplicando el método de nivel 1 de IPCC. Congreso Científico Virtual (pág. 36). Tegucigalpa: UNAH/UCA.
- Honduras, R. d. (2010). Visión de País 2010-2038 y Plan de Nación 2010-2022. *Diario Oficial La Gazeta*, 177.
- Norverto, C. A. (2003). La fijación de CO₂ en plantaciones forestales y en productos de madera en Argentina. *FAO.XII World Forestry Congress*, 6.
- Orellana, D. V. (2012). Estimación del carbono almacenado en la zona núcleo del Parque Nacional Montaña de Celaque (PNMC), Honduras, utilizando la teledetección y Sistemas de Información Geográfica. *Revista Técnico Científica Tatascán*, 12.
- Pérez, M. G. (2020). Evaluación de crecimiento, poder calorífico, densidad y biomasa de *Perymenium grande* Hemsl con y sin fertilizante en la comunidad El Achote, Siguatepeque. *Revista Técnico Científica Tatascán*, 14.



**CARACTERIZACIÓN DE
COMBUSTIBLES FORESTALES
EN EL BOSQUE UNIVERSITARIO
UTILIZANDO LA METODOLOGÍA
DE SCOTT Y BURGAN**

El Triángulo de Manejo Integral del Fuego



CARACTERIZACIÓN DE COMBUSTIBLES FORESTALES EN EL BOSQUE UNIVERSITARIO UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE SCOTT Y BURGAN

Alex Humberto Méndez Cáceres[‡]

Marlon Marcio Medrano[‡]

Ricardo Lezama^σ

RESUMEN

Se realizó un estudio de caracterización y mapeo de modelos de combustibles forestales en el bosque universitario ubicado en tres municipios (Comayagua, El Rosario y Siguatepeque) del Departamento de Comayagua conformando un área de estudio de 4550.30 hectáreas. Tiene la finalidad de generar insumos y/o herramientas técnico científicas como base para el diseño de estrategias de protección y combate de incendios forestales.

La metodología de estudio fue basada en el sistema de clasificación de combustibles forestales desarrollado por Scott y Burgan (2005) quienes como una contribución al Servicio Forestal de Estados Unidos establecieron 45 modelos de combustibles para estimar el comportamiento del fuego en los diferentes ecosistemas vegetales. Dicha metodología requiere de un elemento complementario de validación de campo, para lo cual, mediante un diseño de muestreo aleatorio-estratificado fueron establecidas 42 parcelas, en las cuales se evaluaron diferentes características cualitativas y cuantitativas de las camas de combustibles. La metodología de asignación de modelos de combustible se fundamenta en un set de imágenes fotográficas establecidas en la guía para cada modelo, las cuales fueron correlacionadas con las imágenes tomadas en el área de estudio. Basado en lo anterior, para cada unidad de muestreo fue asignado un modelo de combustible, mediante el algoritmo de Thiessen y los Sistemas de Información Geográfica fueron posteriormente interpolados a toda el área de estudio.

Palabras claves: modelos de combustibles, caracterización de combustibles, comportamiento del fuego

[‡] e-mail: caceres07mendez@gmail.com. *Autor para correspondencia

[‡] e-mail: marlonmarcio@yahoo.es

^σ e-mail: Lezama_ricardo@yahoo.com

ABSTRACT

A characterization and mapping study of forest fuel models was carried out in the university forest located in three municipalities (Comayagua, El Rosario and Siguatepeque) of the Department of Comayagua, conforming a study area of 4550.30 hectares. The present study has the purpose of generating inputs and / or technical scientific tools in the future as a basis for the design of strategies for the protection and combat of forest fires.

The study methodology was based on the forest fuel classification system developed by Scott and Burgan (2005) who, as a contribution to the United States Forest Service, established 45 fuel models to estimate fire behavior in different plant ecosystems. Said methodology requires a complementary element of field validation, for which, through a random-stratified sampling design, 40 plots were established, in which different qualitative and quantitative characteristics of the fuel beds were evaluated. The methodology for assigning fuel models is based on a set of photographic images established in the guide for each model, which were correlated with the images taken in the study area. Based on the above, for each sampling unit a fuel model was assigned and by means of the Thiessen algorithm and the Geographic Information Systems they were later interpolated to the entire study area.

Key words: fuel models, fuel characterization, fire behavior

INTRODUCCION

Actualmente el 47% de los bosques de nuestro planeta están siendo fuertemente deforestados y degradados, tanto por causas naturales como por causas derivadas de la actividad humana, entre ellas cabe citar la tala insostenible e ilegal, la ganadería, la agricultura y los incendios forestales, como las principales (Hancock, Lorin, 2019).

Los ecosistemas son afectados en gran medida por los incendios forestales, que representan uno de los fenómenos más comunes. En los últimos años se han registrado incendios con impacto en miles de hectáreas a nivel mundial, y Honduras no ha sido la excepción. El territorio nacional se ha visto afectado de manera significativa cada año (CONAFOR, 2012).

El peligro de un incendio forestal es resultado de factores constantes y variables que afectan el inicio, la propagación y la dificultad de su control; entre tales factores destacan la topografía, carga de combustibles y tiempo atmosférico (Chandler, Cheney, Thomas, Trabaud, & Williams, 1983).

Una de las variables que influyen en gran medida en el comportamiento y los efectos de los incendios forestales es la distribución y características de los combustibles presentes (Nunes, y otros, 2005), ya que estos suministran la energía necesaria para la propagación del fuego y son el único factor que puede ser modificado por el hombre, por lo que resulta importante conocer las cargas de combustible dentro de los ecosistemas (Byran, 1959). Varias clasificaciones de combustibles forestales se han desarrollado, las cuales asocian una serie de propiedades que permiten estimar el peligro conforme al comportamiento asociado a cada tipo de combustible afectado por un incendio (Albini, 1976).

MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo de estudio

De acuerdo al alcance de la investigación el estudio es descriptivo; finalmente se cuenta con un diseño no experimental, pues no se analizaron hipótesis.

Diseño estadístico

Esta metodología requiere de un trabajo complementario de muestreo de campo para validar la asignación de los modelos de combustible. La validación de campo se realizó mediante un muestreo aleatorio estratificado donde fueron identificadas tanto las características morfológicas y fisiológicas, como la composición botánica de las especies que conforman la cama de combustible del bosque universitario.

Descripción del área de estudio

La caracterización se llevó a cabo en el bosque universitario de la UNACIFOR, bosque de conífera donde la especie dominante es el *Pinus oocarpa* Schiede. (Arita, 2017).

Ubicación

se encuentra localizado entre los municipios de Siguatepeque, El Rosario y Comayagua.

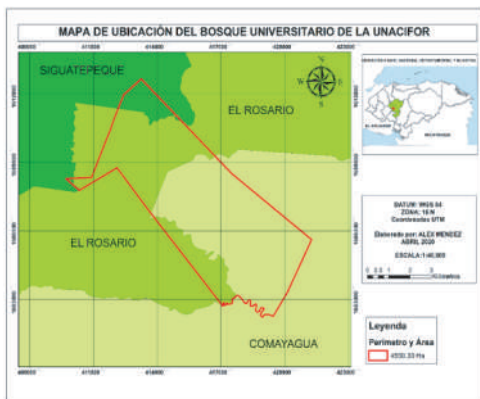


Figura 1. Mapa de bosque universitario

Clima

Cuenta con una altitud promedio de 1100 msnm y un clima tropical. Registra una temperatura que oscila alrededor de los 22.5 °C promedio y unos 1091 mm de precipitación anual.

Cobertura forestal

El bosque universitario está clasificado con 12 diferentes usos y coberturas del suelo tal como se muestra en la figura 2 y el cuadro 1.

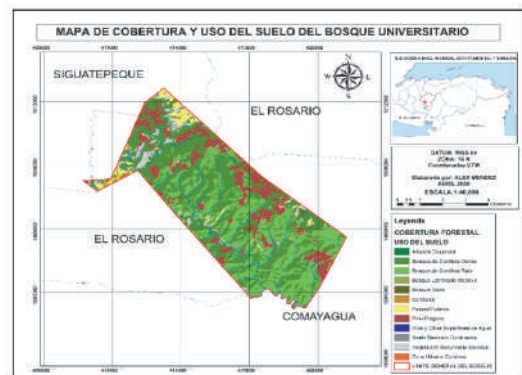


Figura 2. Mapa uso y cobertura forestal

Cuadro 1. Resumen del uso y cobertura forestal actual del área de estudio

No	USO y cobertura forestal	Área (Ha)	Área (%)
1	Zona urbana continua	1.44	0.03
2	Bosque latifoliado decíduo	1.99	0.04
3	Ríos y otras superficies de agua	2.33	0.05
4	Bosque mixto	8.53	0.19
5	Arboles dispersos	10.68	0.23
6	Cafetales	23.4	0.51
7	Suelo desnudo continental	35.61	0.78
8	Vegetación secundaria decídua	158.63	3.49
9	Pastos/cultivos	173.58	3.81
10	Pino plagado	659.07	14.48
11	Bosque de conífera ralo	1307.59	28.74
12	Bosque de conífera denso	2167.54	47.63
	Total	4550.39	100.00

En el cuadro anterior se observa que dentro del área de estudio se encuentran 12 tipos de usos y/o coberturas forestales, de las cuales las más predominantes son

el bosque de conífera denso (47.63%), seguido por el bosque de conífera ralo (28.74%), las áreas afectadas por la plaga del gorgojo descortezador del pino (14.48%); por otro lado, los usos/coberturas que en menos porcentaje se encuentran son el bosque latifoliado decíduo (0.04%) y la zona urbana continua (0.03%). Es importante mencionar que los ecosistemas vegetales más abundantes, son los bosques de coníferas, los cuales cuentan con un área total de 3,475.13 hectáreas, representando un 76.37% del área total (Chavarría Oseguera, 2018).

Trabajo de campo

Diseño de muestreo

El diseño de muestreo es de tipo aleatorio-estratificado, siendo una técnica de muestreo probabilístico en donde se divide la población en diferentes subgrupos o estratos con características homogéneas. Una vez realizada la estratificación, las unidades de muestreo son seleccionadas aleatoriamente en cada estrato y donde el número de unidades de muestreo son definidas en forma proporcional al área de cada estrato. Para este caso, el proceso de aleatorización de parcelas se realizó mediante la herramienta *Create Random Point* de Arc Gis, la cual genera una distribución espacial al azar de puntos de muestreo en la capa (Shape) seleccionada.

Tamaño e instalación de parcelas de muestreo

Las unidades de muestreo son parcelas circulares de tamaño fijo de 50 m² (radio de 4 metros), tal como lo propone la metodología desarrollada por Morfin-Ríos *et ál.* (2012) (figura 3).

En dichas parcelas serán evaluadas las camas de combustible vivo (matorrales, hierbas y pastizales), asimismo, el combustible muerto (hojarasca y otros materiales muertos caídos (finos, livianos y gruesos).

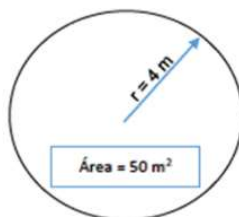


Figura 3.



Figura 4.

Para ubicar cada punto de muestreo fue necesaria utilizar un GPS, en el cual se introdujo las coordenadas geográficas de cada punto de muestreo para luego ser ubicadas en el terreno, se buscó y ubicó el punto exacto de la parcela en la cual se colocó una estaca y en ella una rotulación con los datos generales de la parcela (numero de la parcela, municipio). Dicha rotulación se colocó a una altura de 1.5 metros como se muestra en las siguientes imágenes:



Figura 5. Ubicación de puntos con GPS



Figura 5. Establecimiento y rotulación de parcelas de muestreo

VARIABLES DE MEDICIÓN EN LAS UNIDADES DE MUESTREO

Los combustibles forestales son conformados por el material orgánico vegetal, vivo o muerto, subterráneo, superficial o aéreo, susceptible de ser quemado.

Las características principales de los combustibles son: cantidad, estado, peso, tamaño, forma, densidad, contenido de humedad, presencia de sustancias inflamables, compactación, continuidad horizontal y vertical (Morfin-Ríos, Jardel, Alvarado, & Michel-Fuentes, 2012). Para fines de este estudio, los combustibles muertos fueron clasificados tal como se muestran en el cuadro 2.

Cuadro 2. clasificación de combustibles muertos por tamaño y tiempo de respuesta

Categoría	Diámetro (cm)	Tiempo de Respuesta ²	Ejemplo
Finos	< 0.06	1 hora	Hojarasca, ramillas
Regulares	0.06 – 2.5	10 horas	Ramillas, Ramas
Medianos	2.5 – 7.6	100 horas	Ramas
Gruesos	> 7.6	1,000 horas	Trozos y troncos

Los tres estratos que conforman la cubierta vegetal (dosel superior, estrato arbustivo y el estrato herbáceo o de vegetación baja) se evaluaron de forma conjunta, ya que son los que se componen principalmente de combustibles vivos. Por otro lado, igualmente se evaluó el combustible muerto, el cual está conformado por la hojarasca y otro material muerto caído.

Medición de variables cuantitativas

Con un clinómetro se midió la altura promedio del dosel superior en al menos 1 individuo representativo dentro de la parcela. La altura de los matorrales, pastos y otras hierbas, se midió con una cinta métrica o flexómetro en al menos 4 individuos

representativos dentro de la parcela, preferiblemente un individuo por cada cuadrante de la unidad de muestreo, tal como se muestra en la figura 7.

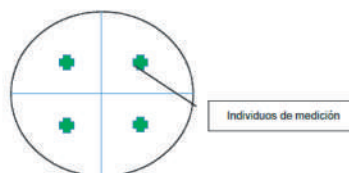


Figura 6. Medición de la cama de hojarasca dentro de la parcela



Figura 7. Medición de altura de matorrales

Para caracterizar la hojarasca, solamente se midió la profundidad de la misma, con la ayuda de un metro (flexómetro).

Se tomaron dos fotografías por cada unidad de muestreo, de preferencia una tomada desde el Norte y la otra desde el Sur de la parcela, tal como lo establece la metodología de Morfin-Ríos *et al.* (2012), para generar un registro visual de las diferentes condiciones de la vegetación y las respectivas camas de combustibles.

Siendo la toma de las fotos la primera actividad que se realice estando en la parcela, debido a que se espera captar las camas de combustibles con la mínima intervención posible. La foto se tomó a una distancia promedio de 10 metros del centro de la parcela, tal como lo establece el estudio realizado por Chavarría Oseguera en el 2018.



Figura 8. Registro de imágenes fotográficas de las camas de combustible

Procedimientos de oficina

Análisis espacial para la asignación de los modelos de combustible

Al culminar el muestreo de campo, se procedió a realizar las asignaciones de los modelos de combustible a cada una de las unidades de muestreo. Para lo anterior, se analizaron las variables cualitativas y cuantitativas medidas en cada parcela, asimismo, las fotografías tomadas de las camas de combustible fueron comparadas con los parámetros establecidos en la guía de asignación de modelos de combustibles estándar para el comportamiento del fuego elaborada por Scott y Burgan (2005). A cada unidad de muestreo se le asignó el modelo de combustible más compatible o que presentó las características de mayor similitud a las observadas en campo.

GR4 (104) Carga moderada, pasto de clima seco (dinámico).



Figura 9. Imagen del modelo GR4 proporcionadas por la guía de asignación de modelos (Scott y Burgan, 2005)



Figura 10. Imagen del modelo GR4 proporcionadas por la guía de asignación de modelos (Scott y Burgan, 2005)

Descripción: El principal portador de fuego en GR4 es la hierba continua de clima seco. La carga y la profundidad son mayores que GR2; la profundidad del lecho de combustible es de aproximadamente 0.6 metros.

Elaboración del mapa de modelos de combustible

El análisis para la distribución espacial de los modelos de combustibles se basó en la metodología desarrollada por Mata, *et ál.* (2014) y Gracia, *et ál.* (2004), las cuales establecen que la poligonización debe realizarse siguiendo la información contenida en las unidades de muestreo.

Para realizar dicho análisis, la metodología sugiere el algoritmo de Thiessen como métodos de interpolación basados en la distancia euclidiana, el cual, al tratarse de variables categóricas, no genera datos intermedios, sino más bien un área de influencia sobre un objeto determinado. La poligonización se realizó individualmente por cada estrato, los cuales, mediante ArcGIS fueron combinados o unidos hasta tener el mapa completo de modelos de combustible.

En la figura 11 se puede observar un ejemplo de poligonización para la elaboración del mapa de combustibles.

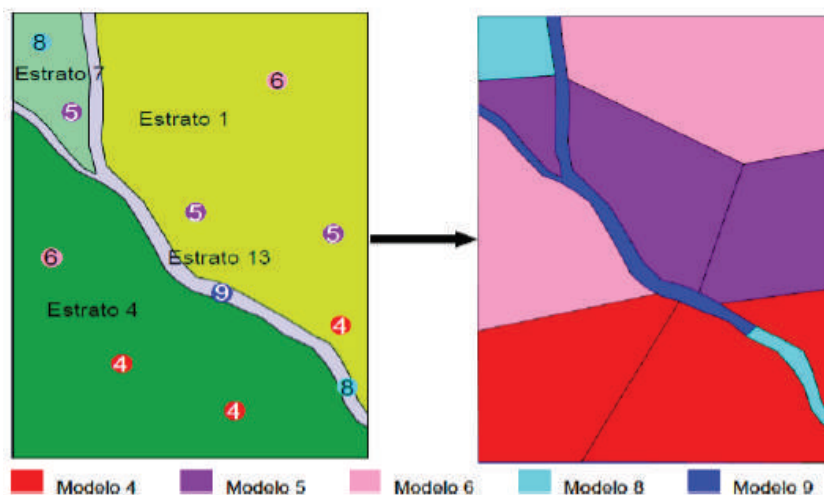


Figura 11. Esquema descriptivo de la poligonización realizada mediante el algoritmo de Thiessen para la elaboración del mapa de modelos de combustible

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización general de las camas de combustibles forestales

Se establecieron un total de 42 parcelas de muestreo distribuidas aleatoriamente en una superficie territorial de 4,550.30 hectáreas en el bosque Universitario. Como parte del diseño de muestreo, las parcelas fueron distribuidas por estratos de clasificación conformadas por las diferentes coberturas forestales establecidas en el mapa forestal y cobertura de la tierra elaborado por el Instituto de Conservación Forestal (ICF) en el 2019. Los estratos de cobertura utilizados fueron los siguientes: Árboles dispersos, Bosque de conífera ralo, Bosque de conífera denso, Bosque latifoliado deceduo, Bosque mixto, Pino plagado, Ríos y otras superficies de agua y Vegetación secundaria decedua. Para este estudio, las coberturas de la tierra conformadas por: Zona urbana continua, Cafetales, Suelo desnudo continental y Pastos/cultivos, fueron clasificadas como áreas sin combustible, por lo cual no fueron muestreadas. El Cuadro 5 muestra los detalles de la caracterización de combustibles forestales encontrados en la zona.

Cuadro 3. Resumen de caracterización de combustibles forestales encontrados

No.	Tipo de combustible	Frecuencia de parcelas		Estratos de cobertura donde se encontró el combustible
		No.	%	
1	Pastizales	7	16.67	<ul style="list-style-type: none"> • pastos/cultivos • bosques de coníferas ralo • bosques de coníferas denso • vegetación secundaria decidua • áreas plagadas
2	Matorrales	3	7.14	<ul style="list-style-type: none"> • áreas plagadas • bosque de coníferas ralo • bosque latifoliado deciduo
3	Pasto-matorral	11	26.19	<ul style="list-style-type: none"> • pastizales • bosque de conifera ralo
4	Bosque-pastizal-matorral	9	21.43	<ul style="list-style-type: none"> • bosque de conifera denso • bosque de conifera ralo y • bosque mixto
5	Bosque-matorral	2	4.76	<ul style="list-style-type: none"> • bosque de coníferas ralo
6	Bosque-sotobosque	9	21.43	<ul style="list-style-type: none"> • bosque de coníferas denso y • bosque mixto
7	Hojarasca bajo el bosque	1	2.38	<ul style="list-style-type: none"> • bosque de coníferas denso y • bosque mixto
TOTAL		42	100	

Identificación de modelos de combustible

Los modelos de combustibles se identificaron con ayuda del Sistema de Clasificación de Combustibles desarrollado por Scott y Burgan (2005), identificando un total de 10 modelos. En el siguiente Cuadro, se detalla un resumen de los modelos encontrados.

Cuadro 4. Modelos de combustibles encontrados

ID	No.	Código	Nombre	Tipo de modelo
1	143	SH3	Bosque-Matorral de clima húmedo con carga moderada	N/A
2	161	TU1	Bosque-Pasto-Matorral de clima seco con carga baja	Dinámico
3	163	TU3	Bosque-Pasto-Matorral de clima seco con carga moderada	Dinámico
4	165	TU5	Bosque-Sotobosque de clima seco con carga muy alta	Dinámico
5	148	SH8	Matorral de clima húmedo con carga alta	Dinámico
6	145	SH5	Matorral de clima seco con carga alta	Dinámico
7	107	GR7	Pastizal de clima seco con carga alta	Dinámico
8	104	GR4	Pastizal de clima seco con carga moderada	Dinámico
9	124	GS4	Pasto-Matorral de clima húmedo con carga alta	Dinámico
10	122	GS2	Pasto-Matorral de clima seco con carga moderada	Dinámico

Dinámico: Se refiere a la clasificación de combustibles que cuentan con un componente herbáceo vivo, el cual influye en el comportamiento del fuego.

Cuadro 5. Resumen de áreas y propiedades de los modelos de combustibles encontrados en el área de estudio

Nº	Código	Nombre del Modelo	Área de distribución dentro de la zona de estudio		Comportamiento del fuego				Carga (ton/ha)
			has	%	Tasa de propagación		Longitud de la llama		
					Clasificación	Tasa (km/hra)	Clasificación	Altura (m)	
0	NB	Incombustible	63.77	1.40	Sin comportamiento del fuego				
143	SHB	Bosque-Matorral de clima húmedo con carga moderada	302.41	6.66	Baja	0.0-0.1	Baja	0.3-1.2	16.43
161	TU1	Bosque-Pasto-Matorral con clima seco con carga baja	53.67	1.18	Baja	0.04-0.1	Baja	0.3-1.2	3.21
163	TU3	Bosque-Pasto-Matorral con clima seco con carga baja	2158.46	47.44	Alta	0.4-1.0	Moderada	1.2-2.4	7.04
165	TU5	Bosque-Sotobosque de clima seco con carga muy alta	1056.00	23.21	Moderada	0.1-0.4	Moderada	1.2-2.4	15.81
148	SH8	Matorral de clima húmedo con carga alta	3.58	0.08	Alta	0.4-1.0	Alta	2.4-3.7	15.81
145	SH5	Matorral con clima con carga alta	15.68	0.34	Muy Alta	1.0-3.0	Muy alta	3.7-7.6	16.06
107	GR7	Pastizal de clima seco con carga alta	319.45	7.02	Muy Alta	1.0-3.0	Muy alta	3.7-7.6	15.81
104	GR4	Pastizal de clima seco con carga moderada	67.64	1.49	Muy alta	1.0-3.0	Muy alta	3.7-7.6	5.31
124	G54	Pasto-Matorral de clima húmedo con carga alta	211.34	4.64	Alta	0.4-1.1	Muy alta	3.7-7.6	30.64
122	G52	Pasto-Matorral de clima seco con carga moderada	362.05	7.96	Alta	0.4-1.0	Moderada	1.2-2.4	5.19
TOTAL (área de estudio)			4,550.30	100.00					

Se observa la distribución espacial de los diferentes modelos de combustible encontrados en la zona de estudio.

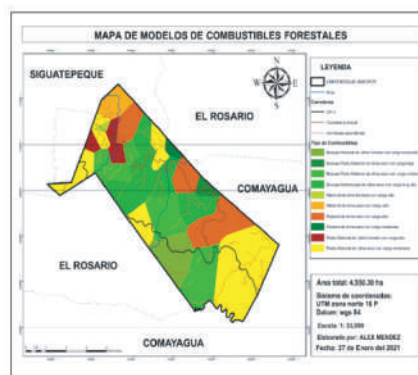


Figura 12. Mapa de los diferentes combustibles encontrados

El grupo de modelos de tipo Bosque – Sotobosque (TU) son los de mayor predominancia en la zona, los cuales se encuentran distribuidos en aproximadamente 3,268.14 hectáreas representando un 71.82% del total del área de estudio. Dentro de este grupo, se han encontrado los modelos TU1, TU3 Y TU5 de los cuales, el modelo más frecuente es el TU3 (Bosque-Pasto-Matorral de clima seco con carga moderada) distribuido en un 47.44% del territorio cubierto por este tipo de modelos.

Los modelos de tipo Pasto-Matorral (GS) fueron encontrados en un área de 573.40 hectáreas, representando solamente un 12.60% del área total. Dentro de este grupo se encuentran los modelos: el GS2 (Pasto-Matorral de clima seco con carga moderada) con 7.96% y el GS4 (Pasto-Matorral de clima húmedo con carga alta. De los modelos anteriores, el GS4 es el que presenta una mayor peligrosidad debido a que el comportamiento del fuego puede ser muy alto en cuanto a sus tasas de propagación alta (0.4-1.1 Km/h) y altura de las llamas (3.7-7.6 m) muy alta según la estimación correspondiente.

Los modelos de tipo Pastizal (GR) se encuentran distribuidos en 387.09 hectáreas, los cuales representan el 8.51% del área de estudio. En este grupo fueron encontrados 2 modelos (GR4 y GR7) de los cuales, el modelo de mayor predominancia es el GR7 (Pastizal de clima seco con carga alta) representando el 7.02% del territorio cubierto por este tipo de modelos.

Los modelos de tipo Matorral (SH) fueron encontrados en un área de 321.68 hectáreas, representando solamente un 7.07% del área total.

Dentro de este grupo se encuentran los modelos: el SH3, SH5 Y SH8. De los modelos anteriores, el SH5 es el que presenta una mayor peligrosidad debido a que el comportamiento del fuego puede ser muy alto en cuanto a sus tasas de propagación muy alta (1.0-3.0 km/h) y altura de las llamas (3.7-7.6 m) estimación que podría presentar al momento de un incendio, distribuyéndose en su mayoría en las áreas plagadas.

Modelo tipo Incombustible (NB) es representado por calles y ríos principales dentro del área de estudio, el cual se representa en 63.77 hectáreas siendo el 1.40% del territorio de investigación, se representa de la siguiente manera las carreteras cubriendo un área de 49.74 hectáreas las que corresponde a CA-5 (18.63 ha, 15.52 km de largo) y las carreteras internas con un área de 31.11 ha y 77.77 km de largo; los ríos representan un área de 14.03 con un largo de 11.69 km.

Cuadro 6. Valores de alturas y velocidad de la llama según los tipos de combustibles

No.	Tipo					
	BAJA					
1	área (ha)	alt (m)	%	vel (km/h)	área (ha)	%
		356.09	0.3-1.2	7.83	0.04-0.1	356.09
2	MODERADA					
	área (ha)	alt (m)	%	vel (km/h)	área (ha)	%
	3576.51	1.2-2.4	78.60	0.1-0.4	1056.00	23.21
3	ALTA					
	área (ha)	alt (m)	%	vel (km/h)	área (ha)	%
	3.58	2.4-3.7	0.08	0.4-1.0	2735.44	60.12
4	MUY ALTA					
	área (ha)	alt (m)	%	vel (km/h)	área (ha)	%
	614.12	3.7-7.6	13.50	1.0-3.0	402.78	8.85
total	4550.30		100.00		4550.30	100.00

Según los resultados mostrados en cuadro 6, se detallan los resultados de la peligrosidad del fuego según su tipo, para la altura y la velocidad **MUY ALTA** se muestra que aproximadamente el 13.50% del área posee modelos de combustible con alturas que van desde 3.7 - 7.6 m y lo representan los siguientes modelos (GR4, GR7, GS4 y SH5) con un comportamiento del fuego de muy alta

peligrosidad mostrando tasas de propagación entre 1.0 - 3.0 km/h en los modelos (GR4, GR7 y SH5), Estos modelos se encuentran distribuidos en las coberturas de: pastos/cultivos, bosques de coníferas ralo, bosques de coníferas denso, vegetación secundaria decidua, áreas plagadas, bosque latifoliado deciduo y pastizales. Lo anterior es debido mayormente a la gran cantidad de área plagada, pastizales altos y bosques secos existentes en el área, los cuales presentan gran cantidad de combustible almacenado.

Para la altura y la velocidad **ALTA**, la altura de llama esta entre 2.4 – 3.7 metros lo que representa un 0.08% del territorio cubierto por el modelo de combustible (SH8), se muestra un comportamiento del fuego alto con tasas de propagación entre 0.4 – 1.0 km/h en los siguientes modelos (GS2, GS4, SH8 y TU3).

Por otro lado, para la altura y la velocidad **MODERADA**, el 78.60% del área presenta modelos de combustible con alturas de llama de 1.2 – 2.4 m, en modelos (GS2, TU3 y TU5) se dan en coberturas de pastizales, bosque de conífera ralo, bosque de conífera denso y en bosque mixto. Cabe destacar que la existencia de estos modelos posee una baja carga de combustible (ton/ha) debido a que se encuentran mayormente asociados a sitios con una alta frecuencia de incendios forestales, lo cual ha generado una reducción de la cantidad de combustible almacenado.

Y para la altura y la velocidad **BAJA**, la altura de llama esta entre 0.3 – 1.2 metros lo que representa un 7.83% del territorio cubierto por los modelos de combustible (SH3 y TU1), se muestra un comportamiento del fuego con tasas de propagación entre 0.04 – 0.1 km/h.

DISCUSION

Se detallan algunas de las limitaciones que presenta el mapa de modelos de combustible.

Como se explicó en la metodología, para la elaboración del mapa de modelos de combustible fue utilizado como base el mapa forestal y cobertura de la tierra elaborado por el ICF en el 2019, el cual, a este tiempo ya presenta diferencias con respecto a la actualidad, lo cual no se encuentra reflejado en el mapa de combustibles forestal presentado en este estudio.

El mapa de modelos de combustible no cuenta con una clasificación diferenciada de estos modelos para representar las zonas de pastizales puros y las zonas de cultivos agrícolas, por lo tanto, en el mapa dichas coberturas (pastos y cultivos agrícolas) se encuentran representados por los mismos modelos, lo cual genera un error sistemático en los modelos de tipo pastizal. Lo ideal sería que las zonas de cultivos agrícolas sean agrupadas en las zonas sin combustible, para ello será necesario que en el mapa de base (mapa forestal y de cobertura de la tierra) se haga una clasificación individualizada entre pastos y cultivos agrícolas.

CONCLUSIONES

Mediante un muestreo de campo aleatorio-estratificado donde fueron establecidas un total de 40 unidades de muestreo y tomando como base el sistema de clasificación de modelos de combustibles desarrollada por Scott y Burgan (2005), en la zona, fueron encontrados un total de 10 modelos de combustible pertenecientes a 5 grupos (Pastizales, Pasto-Matorral, Matorral, Bosque-Sotobosque y Hojarasca bajo el dosel del bosque).

De los 10 modelos encontrados, 5 (GR4, GR7, GS4, SH5 y SH8) presentan un comportamiento del fuego alto (altura de llama mayor a 2 metros), los cuales se encuentran distribuidos en un 13.50% del área, 3 modelos (GS2, TU3 y TU5) poseen un comportamiento moderado (altura de la llama entre 1 a 2 metros) distribuidos en el 78.60% del territorio y 2 modelos (SH3 y TU1,) presentan un comportamiento del fuego bajo (alturas menores a 1 metro) distribuidos en el 7.83% del territorio. El resto del área (1.40%), está representado por zonas sin combustible.

El grupo de modelos de mayor predominancia en la zona lo constituyen los de tipo bosque sotobosque, los cuales ocupan 71.82% del territorio, siendo distribuidos no solamente en la cobertura de bosque sotobosque, sino también en las coberturas de: bosque de conifera ralo, bosque de conifera denso y la vegetación secundaria decidua.

Los modelos del tipo pastizal son dinámicos y generalmente está compuestos de especies anuales, lo cual hace aún más difícil su manejo. Del grupo de pastizales, el modelo más común es el GR7 (Pastizal de clima seco con carga alta) representa el 7.02% del área total y en total se encontró un 8.51% del territorio ocupado por los modelos del tipo pastizal.

Los modelos de combustible que presentan un comportamiento del fuego de mayor peligrosidad en cuanto al combate de incendios son: GR4, GR7, GS4, SH5 y SH8, los cuales se encuentran distribuidos en su mayoría en las áreas plagadas, vegetación secundaria decidua y pastizales. El combate de incendios en este tipo de coberturas debe ser planificado con mucha cautela y, asimismo, deben ser consideradas todas las medidas de seguridad para no comprometer la integridad física de los combatientes.

El bosque presenta áreas con combustibles de tipo pasto matorral debido principalmente a la presencia de una gran cantidad de área plagada, extensos pastizales de porte alto y la vegetación secundaria decidua, los cuales contienen altas cargas de combustible almacenado. Por otro lado, se presentan modelos con un comportamiento del fuego bajo, lo cual, según el estudio, se debe a que la alta frecuencia de incendios forestales ha reducido drásticamente las camas de combustible almacenado. El resto del bosque presentan en la mayoría de su territorio, modelos con comportamientos del fuego moderado (78.60%).

Mediante este estudio se evidenció la alta frecuencia de incendios forestales en el área de estudio. Un total de 1421.36 ha dañadas, se encontraron evidencias que los sitios habían sido quemados en el año 2020. Cabe destacar que, de estas áreas quemadas, existe una base estadística de cada año de los incendios dentro del área de estudio por parte de la UNACIFOR. Se evidenció de igual manera que el combustible aledaño a esta área dañada es también prioridad para la prevención de incendios forestales.

El conocimiento del territorio es fundamental para poder llevar a cabo una gestión sostenible del mismo. Los mapas de modelos de combustible pueden ser una herramienta indispensable, que complementada con otras variables de comportamiento pueden ser usadas en la prevención y combate de incendios forestales, asimismo, las capas de modelos de combustibles pueden ser fundamentales en la elaboración de los mapas de riesgo diario de incendios forestales que serán de mucha utilidad para la institución.

En este estudio, las variables físicas del suelo como la pendiente y exposición solar no tuvieron ningún efecto significativo con respecto a la identificación de las camas de combustible forestal.

RECOMENDACIONES

Es recomendable que antes de enviar las cuadrillas al control de un incendio forestal, se tenga conocimiento del sitio y verificar, según el mapa correspondiente, las áreas de alto riesgo y comportamiento del fuego para prevenir dificultades. Lo anterior con el fin de reducir los riesgos que puedan afectar la integridad física de los combatientes.

Considerando que los modelos de combustible de mayor peligrosidad para el control de incendios forestales se encuentran distribuidos mayormente en las áreas plagadas y, asimismo, considerando el alto potencial de regeneración natural existente, será necesario priorizar dichas zonas para realizar acciones de prevención (rondas y, vigilancia, entre otras) contra incendios forestales.

Por otro lado, es recomendable crear mecanismos de incentivos, ya sea a nivel municipal o comunitario, encaminados a que sean las mismas comunidades quienes contribuyan a la restauración de las mismas (municipios o comunidades verdes, entre otros).

Con el fin de controlar altas cantidades de combustibles de las áreas es necesario reducir los combustibles forestales, por lo cual se recomienda realizar quemas prescritas, sin embargo, previo es necesario realizar estudios específicos para la priorización de áreas donde deben realizarse dichas acciones. El mapa de modelos de combustible y el mapa de riesgo de ocurrencia de incendios forestales podrán ser utilizados como base para dichos estudios.

Será necesario generar una estrategia de monitoreo y control más intensivo en las áreas manejadas por UNACIFOR, principalmente las que estén relacionadas a las acciones de prevención y control de incendios, como por ejemplo las zonas de mayor influencia por las comunidades aledañas, ya que estas según necesidades tienden a realizar quemas conforme se dan las actividades de agricultura, las que tienden a causar daños con mayor frecuencia al bosque.

Es importante considerar que los combustibles forestales son una parte o variable fundamental del comportamiento del fuego, ya que también tiene mucho que ver en el comportamiento del fuego con las variables climatológicas y la topográficas.

BIBLIOGRAFÍA

- Albini, F. A. (1976). Estimating wildfire behavior and effects. (U. F. Service, Ed.) Intermountain Forest and Range Experiment Station.
- Byran, G. M. (1959). Combustion of forest fuels. In *Forest fire: control and use*. K. P. Davis, Ed.
- Chandler, C., Cheney, P., Thomas, P., Trabaud, L., & Williams, D. (1983). *Fire in forestry (Vol. Volume 1: Forest fire behavior and effects)*. New York, USA: John Wiley & Sons.
- Chavarría Oseguera, A. (2018). Caracterización de combustibles forestales en la Región Forestal Francisco Morazán con énfasis en el corredor boscoso central "CBC". Programa de Adaptación al Cambio Climático en el Sector Forestal (CLIFOR), Agenda Forestal Hondureña (AFH), Tegucigalpa MDC.
- CONAFOR. (2012). Comisión Nacional Forestal. Obtenido de www.conafor.gob.mx
- Hancock, Lorin. (11 de JUNIO de 2019). La degradación de los bosques: porque afecta a las personas y la vida silvestre. descubre WWF. Obtenido de: <http://www.worldwildlife.org>
- ICF. (2019). Anuario Estadístico Forestal (33 ed., Vol. 33). Tegucigalpa, Honduras.
- Mata, T., Ibáñez, J. J., Vaireda, J., & Burriel, J. A. (2014). Mapas de modelos de combustibles y de modelos de inflamabilidad. Bellaterra, Barcelona, Catalonia, España.
- Morfin-Rios, J. E., Jardel, P. E., Alvarado, C., & Michel-Fuentes, J. M. (2012). Caracterización y cuantificación de combustibles forestales. Universidad de Guadalajara, Comisión Nacional Forestal, Guadalajara, Jalisco, México.
- Nunes, M. C., Vasconcelos, M. J., Pereira, J. M., Dasgupta, N., Alldredge, R. J., & Rego, F. C. (2005). Land cover type and fire in Portugal: do fires burn land cover selectively? Portugal. Obtenido de: <http://dx.doi.org/10.1007/s10980-005-0070-8>
- Scott, J. H., & Burgan, R. E. (2005). Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Department of Agriculture. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-153.



**PRACTICAS DE ADAPTACION AL CAMBIO CLIMATICO
EN SISTEMAS PRODUCTIVOS DE CAFÉ
EN TERRITORIOS DE FORESTERIA COMUNITARIA**

7

PRACTICAS DE ADAPTACION AL CAMBIO CLIMATICO EN SISTEMAS PRODUCTIVOS DE CAFÉ EN TERRITORIOS DE FORESTERIA COMUNITARIA

Henry Francisco Mencía Anariba^ξ

Juan Rafael López Dubón^χ

RESUMEN

El Cambio Climático es una amenaza para Honduras, considerado uno de los países más vulnerables del mundo; y así mismo para su caficultura. Este estudio buscó determinar la vulnerabilidad de los sistemas de producción de café en territorios de forestería comunitaria en Yoro, Olancho y El Paraíso, identificar las prácticas más comunes implementadas por los productores y como impactan el microclima local; empleando la herramienta de vulnerabilidad climática desarrollada por IHCAFE-CATIE, y monitorear variables climáticas colocando equipo en parcelas con prácticas y sin prácticas de adaptación al cambio climático.

Caracterizando las parcelas de muestreo, un 50% de los productores usan variedad Lempira; suelos ricos en materia orgánica, con pH ácido, considerable presencia de nutrientes necesarios para el cultivo del café. Al evaluar vulnerabilidad, se encontró que son muy vulnerables al cambio climático, principalmente sequías, temperatura y lluvias irregulares, esto provoca impactos en la finca, pérdida de la fertilidad, e incremento en la erosión del suelo.

Se encontró presencia de plagas y enfermedades ligeramente mayor en fincas con sombra que a pleno sol, sin embargo, no existe diferencia estadística significativa. La temperatura entre microclimas de cafetales a pleno sol, y con sombra, presentaron diferencias hasta 22 grados centígrados.

Palabras claves: Sistemas agroforestales, Cambio Climático, Adaptación, Microclima, Coberturas

^ξ E-mail: hfmencia@gmail.com. *Autor para correspondencia

^χ Departamento de Investigación Cafetalera. Instituto Hondureño del Café. Centro de Investigación y Capacitación “Jesús Aguilar Paz”. e-mail: juralopez@gmail.com

ABSTRACT

Climate Change is a threat to Honduras, considered one of the most vulnerable countries in the world; and also for your coffee farming. This study sought to determine the vulnerability of coffee production systems in community forestry territories in Yoro, Olancho and El Paraíso, identify the most common practices implemented by producers and how they impact the local microclimate; using the climate vulnerability tool developed by IHCAFE-CATIE, and monitoring climate variables by placing equipment on plots with practices and without practices of adaptation to climate change.

Characterized by sampling plots, 50% of producers use Lempira variety; soils rich in organic matter, with acidic PH, considerable presence of nutrients necessary for the cultivation of coffee. In assessing vulnerability, they were found to be very vulnerable to climate change, mainly droughts, temperatures and irregular rains, this causes impacts on the farm, loss of fertility, and increased soil erosion.

This study found the presence of pests and diseases slightly greater in shaded farms than in full sun, however, there is no significant statistical difference. The temperature between microclimates of coffee plantations in full sun, and shaded, differed up to 22 degrees Celsius.

Key words: agroforestry Systems, Climate Change, Adaptation, Microclimate, Coverages

INTRODUCCION

El cambio climático es un problema visualizado por la mayoría de las naciones por su efecto en las actividades que se desarrollan. La biodiversidad, la agricultura y la disponibilidad de agua son algunos de las principales amenazas que enfrentamos (Jiménez *et ál.* 2010; Ríos, 2010). Los sistemas agroforestales son considerados por muchos expertos como una estrategia de mitigación al cambio climático para la agricultura por su potencial de fijación de carbono en la biomasa área específicamente en los árboles utilizados en el sistema (Ávila *et ál.* 2001; Jimenez *et ál.* 2012) y a su vez son una medida de adaptación al cambio climático por la diversificación de la producción y la generación de ingresos adicionales para la familia productora que ya no depende de un monocultivo.

Vigilo Filho *et ál.* (2015) menciona que algunas actividades humanas están entre las principales causas del cambio climático, ya que generan lo que se conoce como Gases de Efecto Invernadero (GEI). Los principales gases de este tipo son: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y halocarbonos (gases que contienen flúor, cloro y bromo). La cantidad de GEI emitida por actividades humanas aumentó en un 70% entre 1970 y 2004. En el 2005, las concentraciones de CO₂ y CH₄ excedieron los valores naturales de los últimos 650,000 años (Cifuentes 2010). El cambio climático en conclusión es una variación del clima promedio a largo plazo, pudiendo durar periodos prolongados de tiempo.

Un diagnóstico adecuado de los factores que influyen en incrementar la vulnerabilidad de un cultivo es de mucha relevancia para tomar como punto de partida y generar las recomendaciones apropiadas. En el sector café el IHCAFE (Instituto Hondureño del Café) en conjunto con PRCC (Programa Regional de Cambio Climático) y CATIE (Centro Agronómico Tropical para la Investigación y Enseñanza) publicó el 2015, una herramienta diseñada para el sector café en Honduras, la que analiza aspectos de manejo y percepción del productor ante los factores climáticos que afectan su productividad (Virginio Filho *et ál.*, 2015). Para el 2016 IHCAFE ya había implementado dicha herramienta, encontrando que el porcentaje de vulnerabilidad es mayor en las zonas cafetaleras con menor acceso carretero, igualmente la percepción de los productores ante el cambio climático fue de un alto porcentaje en cuanto al aumento de las temperaturas y las lluvias irregulares, siendo estas dos los principales factores de afectación.

Algunas de las prácticas de adaptación promisorias aprovechan los procesos ecológicos y la biodiversidad para la adaptación de los productores agrícolas, en Honduras este tipo de prácticas pueden ser muy importantes debido a la topografía del país y la ubicación de los campos agrícolas principalmente granos básicos, ganadería y caficultura en zonas de ladera. Las prácticas de conservación de suelos o las prácticas de agricultura de conservación, entre otras, reducen la erosión durante los eventos climáticos extremos (Harvey *et ál.*, 2014; Hobbs 2007; Delgado *et ál.* 2011), este tipo de práctica en la agricultura de Honduras podría generar mayor conservación de los suelos y mantener la calidad en la producción de agua de las zonas protegidas que se

encuentran fuertemente impactadas por la caficultura. La incorporación del uso de árboles en fincas provee sombra para la regulación de las altas temperaturas y además puede significar la diversificación de ingresos para los pequeños productores de café, además esta práctica significa un soporte en la conservación de la biodiversidad de flora y fauna, mayor incremento de la fertilidad del suelo al incorporar especies fijadoras de nitrógeno y zonas de conectividad entre áreas protegidas.

Para incrementar la resiliencia de los sistemas agroforestales de café y reducir la vulnerabilidad, es importante la adopción de prácticas agrícolas que signifiquen un aumento en la producción sin detrimento de los ecosistemas presente en la zona (Altieri *et ál.* 2015). Ciertamente la implementación de sistemas agroforestales y el uso de sombra para el café es una de las prácticas que más aceptación tiene por los pequeños agricultores. En Honduras el alto porcentaje de personas que utilizan sombra para el café, nos lleva a suponer que dicha práctica tiene un impacto en significativo en el mantenimiento del microclima. Por lo tanto, es de relevancia para el país poder identificar y medir el impacto de la adopción de ciertas prácticas de adaptación promovidas en sistemas productivos de café y su importancia para el ecosistema en general.

METODOLOGIA

Descripción del Área de Estudio

El presente estudio realizó tomas de variables en las parcelas vitrinas establecidas por el IHCAFE y CLIFOR (Adaptación al Cambio Climático en el sector forestal) en territorios de forestería comunitaria. Los sitios seleccionados son zonas cafetaleras en Yoro, Olancho, El Paraíso y Francisco Morazán, que tienen condiciones de ubicación

de fincas entre los 1,000 y los 1,600 metros sobre el nivel del mar, con climas templados y temperaturas que varían entre los 20 y 30 grados centígrados y precipitaciones entre los 1,200 y 2,200 milímetros anuales. La mayoría de los productores manejan sus cafetales con sombra de árboles del género *Inga spp.*

Trabajo de Campo

Toma de datos socioeconómicos y cualitativos

El presente estudio realizó tomas de variables en las parcelas vitrinas establecidas por el IHCAFE y CLIFOR en territorios de forestería comunitaria. Los sitios seleccionados son zonas cafetaleras en Yoro, Olancho, El Paraíso y Francisco Morazán, que tienen condiciones de ubicación de fincas entre los 1,000 y los 1,600 metros sobre el nivel del mar, con climas templados y temperaturas que varían entre los 20 y 30 grados centígrados y precipitaciones entre los 1,200 y 2,200 milímetros anuales. La mayoría de los productores manejan sus cafetales con sombra de árboles del género *Inga spp.*

Antes de comenzar el trabajo de campo, se verificó y realizó una revisión de las fincas que han sido beneficiarios de la subvención de IHCAFE con CLIFOR, las prácticas que se han priorizado y los materiales utilizados en las mismas. En cada finca seleccionada se realizó la aplicación de la herramienta de vulnerabilidad mostrada a continuación.

Esta herramienta fue diseñada tomando en consideración variables de exposición, variables de impacto y capacidades adaptativas presentes tanto del productor como de su unidad productiva (Virginio Filho, 2015).

Las variables obtenidas serán analizadas utilizando estadística descriptiva para cada región cafetalera y para efectos del presente estudio se categorizaron los productores en 8 categorías de vulnerabilidad y capacidad adaptativa.

Unidad de muestreo y variables a medir

La unidad de muestreo fue definida por una manzana de café, establecida en dos bloques con y sin sombra para validar la influencia de la sombra en las variables climáticas, principalmente en la temperatura ambiente, temperatura del suelo y la humedad relativa.

Un estudio de Jaramillo *et ál.*, 2016 en Colombia determinó que, al estudiar la interacción de la radiación solar con la parte aérea, se distinguen dos clases de área foliar: área foliar sombreada y área foliar iluminada, por tal razón es determinante tomar los parámetros en ambos tipos de cobertura bajo condiciones similares para determinar la influencia de la cobertura sobre la variable climática. El equipo fue instalado en parcelas con 10 productores que posean prácticas de adaptación implementadas y que conserven cafetal a pleno sol aun en su unidad productiva.

Análisis de Suelo

El análisis de suelo se realizó para identificar si existe un patrón de cambio en las condiciones químicas del suelo y la disponibilidad de materia orgánica entre las fincas con sombra y sin sombra. Para esto se tomaron muestras de suelo antes de establecer la finca y se tomaron muestras después del establecimiento de la finca de café.

La cantidad de fincas seleccionadas para esta actividad son las 35 a cargo de los líderes que participan de la primera escuela en agroforestería y cambio climático. Según el Capítulo 8 del Manual Técnico del IHCAFE se tomaron en consideración variables o aspectos químicos del suelo y contenido de humedad.

Método estadístico de análisis

El análisis de datos se realizó utilizando INFOSTAT. Los datos de vulnerabilidad de 785 fincas se organizaron en una sola base de datos para facilitar el análisis, para este análisis se realizó utilizando estadística descriptiva, donde se caracterizó el manejo otorgado a los cafetales por parte del productor. Los datos de los equipos de medición se organizaron en una sola base de datos de más de 41 mil observaciones de temperatura de suelo y más de 20 mil observaciones de temperatura y humedad relativa del ambiente, estos fueron analizados a través de análisis de varianza para determinar la significancia de la práctica sobre el mejoramiento del microclima.

VARIABLES ANALIZADAS EN EL PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

A. Incidencia de Roya: La incidencia de roya, fue analizada como porcentaje, y se calculó con el conteo de hojas afectadas por el hongo por cada una de las plantas mediante un muestreo al azar.

B. Incidencia de Broca: La incidencia de broca, fue analizada como porcentaje, y se calculó con el conteo de frutos afectados por el insecto por cada una de las bandolas de planta mediante un muestreo al azar.

C. Temperatura: la temperatura fue tomada en grados Celsius, en lecturas diarias de cada dos horas aproximadamente durante el transcurso del día, haciendo un total de más de 50 mil observaciones.

D. Humedad Relativa: La humedad relativa fue tomada en porcentaje cada dos horas mediante Higrobuttons, las observaciones se realizaban diariamente en 8 parcelas distribuidas en los territorios estudiados.

E. Capacidad Adaptativa: La capacidad adaptativa fue medida mediante la herramienta de Vulnerabilidad. Con datos numéricos se identificó si existe capacidad adaptativa, no existe o está en proceso.

F. Índice de Vulnerabilidad: El índice de vulnerabilidad se minio en una escala de -25 a 25 donde -25 es el mayor índice de vulnerabilidad y 25 es el menor índice de vulnerabilidad.

Análisis de Varianza

Utilizando ANOVA se realizó una comparación de medias para determinar si en el global de los datos de las poblaciones sus medias eran iguales o existían diferencias significativas entre ellas, para el caso se comprobó mediante análisis de varianza las siguientes variables:

1. Temperatura del suelo
2. Humedad relativa
3. Incidencia de plagas y enfermedades

El análisis de varianza utilizó como variables categorizaron en primera instancia los tipos de cobertura en el café: a) Testigo (a pleno sol); b) Sombra alta (guama y maderables); c) pastos como cobertura en callejones.

Además de estas variables, se categorizaron los datos por departamento y municipio principalmente en aquellos territorios donde se contaba con datos de más de una parcela.

Resultados y Discusión

Caracterización de los productores en los territorios

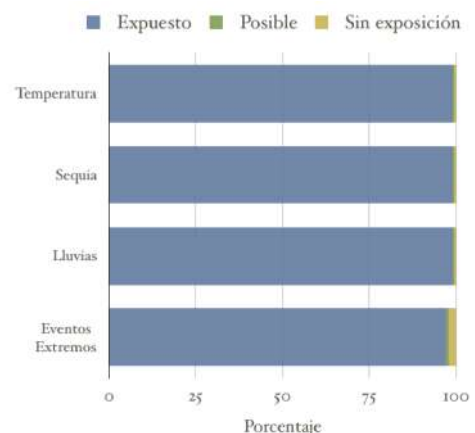
Los resultados de la presente investigación revelan que la caficultura de la zona es de subsistencia. Similares resultados se encontraron en Colombia (Criollo Escobar *et ál.* 2016) donde los productores encontrados en la zona de Nariño, son fincas cafetaleras de 1 a 3 hectáreas como los datos encontrados en el presente estudio, por su parte en Ecuador se encontraron en la zona de Manabí fincas más grandes de 1-10 hectáreas pero caracterizadas como fincas pequeñas en un 66% (Santistevan *et ál.* 2014).

Sin embargo, a diferencia del caso de Honduras, estos productores se caracterizan por tener plantaciones de café bien manejadas con rendimientos por encima de la media nacional y variedades resistentes a la roya, en los territorios de forestería comunitaria se encuentra un alto índice de pobreza ya que la caficultura no se práctica a gran escala y los cafetales no están tecnificados, lo que genera rendimientos más bajos a la media nacional de Honduras.

Turbay *et ál.* 2013 en un estudio reciente reveló que las prácticas de adaptación al cambio climático más implementadas por los cafetaleros son: sistemas agroforestales y manejo de la sombra, diversificación productiva, utilización de variedades resistentes a roya y manejo de suelos y agua, similares resultados obtenidos para Costa Rica por Bouroncle *et ál.* 2015.

En los territorios de forestería comunitaria están ausentes la mayoría de estas prácticas que son populares en otros países centroamericanos como Costa Rica, Guatemala y El Salvador, más del 70% de los productores no realizan manejo de suelos y agua en el cafetal, estando ausente inclusive el trazo apropiado de la finca al encontrarse en una zona de ladera. Apenas un 30% de los productores diversifican, sin embargo una diversificación apropiada y manejada esta ausente, en su mayoría los productores practican sistemas agroforestales con guama y huertos caseros únicamente de consumo para el núcleo familiar. Resultados muy contrarios encontramos en Costa Rica, donde el 80% de los productores cuenta con sistemas de café diversificados, encontrándose que inclusive la especie de servicio cuenta con una manejo fuerte para regular y controlar su sombra en las épocas de mas necesidad para el cultivo.

Figura 1. Factores de exposición de territorios de forestería comunitaria.



Fuente. Elaboración propia en base a resultados de diagnóstico de vulnerabilidad en territorios de forestería comunitaria.

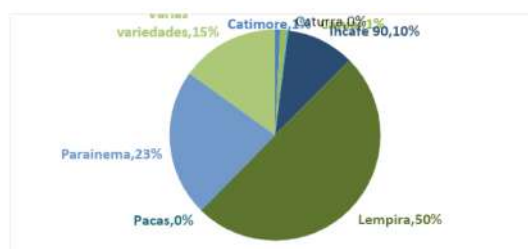
Cuando hablamos de cambio climático uno de los factores que más sale a relucir en la mayoría de las investigaciones científicas son los aspectos de mejoramiento genético (Santistevan *et ál.* 2014; Jimenez *et ál* 2015), en este sentido Honduras se encuentra trabajando temas de mejoramiento genético a través del laboratorio de tejidos de IHCAFE, en cuanto a la liberación de Variedades Honduras cuenta con cuatro (3) variedades adaptadas y tolerantes a Roya y utilizadas por los productores como ser: Parainema y Lempira en mayor escala y en menor proporción IHCAFE-90 (IHCAFE, 2016), en los territorios una de las variedades de mayor utilización fue Lempira, un 50% de los productores renovaron sus cafetales con esta variedad buscando mayor resistencia a la roya, sin embargo un estudio reciente revela que en Honduras existen un mayor número de razas de roya lo que vuelve a la variedad lempira susceptible (Deras, 2018 y Morales, 2019).

la práctica de cobertura de suelo se encuentra que el 20% de los productores en El Paraíso implementan cobertura de suelo a pesar de ser una práctica de reciente recomendación en IHCAFE, no existe estudio conocido sobre la implementación de coberturas al suelo como prácticas de adaptación al cambio climático, sin embargo en Guatemala y El Salvador este tipo de prácticas solamente se encuentran presentes en la zona de triffinio y con muy bajo grado en el resto del territorio, en este sentido Honduras se caracteriza por contar con más territorios implementando este tipo de prácticas que el resto de países de la región.

En Yoro se obtienen resultados de mayor adaptación por parte de los productores de prácticas como la sombra al café para ser más tolerante a la sequía, esta práctica es muy común en los países de Centroamérica, Perú y México, se encuentran resultados de medición del aporte sobre el microclima de los SAF desde 1984 (Barradas y Fanjul 1984).

Estadísticamente no existía ningún tipo de relación entre la presencia de materia Orgánica en el suelo y los demás nutrientes del suelo, esto difiere mucho de los estudios realizados por Chavarria *et ál.* 2012 donde a mayor cantidad de materia orgánica mayor cantidad de nitrógeno y otros elementos disponibles en el suelo.

Figura 2. Uso de variedades de café en territorios de forestería comunitaria



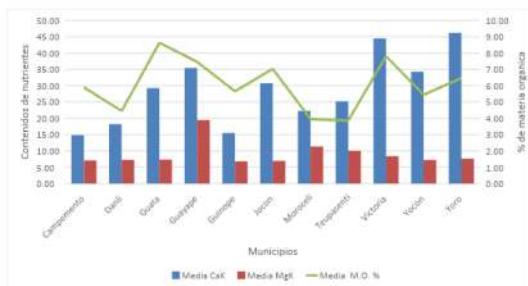
Moroceli y Teupasenti en el municipio de El Paraíso es donde menos materia orgánica disponible existe, esto está íntimamente relacionado con la presencia de un sistema agroforestal en el área y el anterior uso del suelo, estudios en Costa Rica y Colombia (Munguia *et ál.* 2004) revelan que entre más cobertura de suelo, mayor biomasa aérea y más prácticas de conservación se realizan más disponibilidad de materia orgánica existe en el suelo.

Según estudio realizado por Jiménez *et al.* 2015 sobre la vulnerabilidad al cambio climático de los productores de la zona, se logra ver una coincidencia para estos municipios en cuanto a la falta de prácticas de conservación de suelo y sistemas agroforestales.

Según Jiménez *et ál.* 2016, en El Paraíso, Olancho y Santa Bárbara existe una alta exposición a efectos del cambio climático, las temperaturas son la principal fuente de exposición al igual que las sequías y las lluvias irregulares en tercer lugar, estos resultados son similares a los resultados obtenidos, donde apenas dos productores indicaron no tener conflictos con estas variables climáticas.

El principal problema con las altas temperaturas y las sequías es que provocan marchitez en la planta de café en la época de floración, disminuyendo la cantidad de botones florales y por ende la producción de café (Virgilo Phyllo *et ál* 2015). Por su parte las lluvias también provocan daños a la producción, principalmente si se dan fuertes tormentas en épocas de cosecha del grano maduro, ya que la planta aborta el grano, similar efecto provocan las sequías prolongadas en el grano de café. (Bustamante *et ál* 2015).

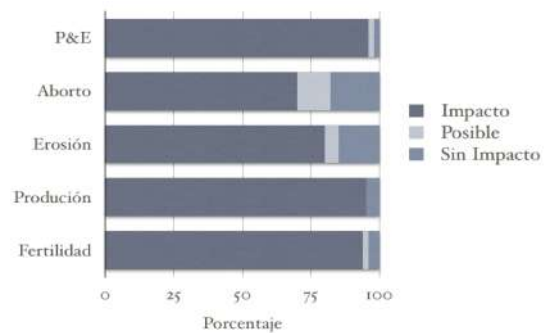
Figura 3. Suelos cafetaleros en territorios de forestería comunitaria



Validación de prácticas de adaptación y mitigación al cambio climático en cafetales de territorios de forestería comunitaria

Los resultados reflejan que no existen diferencias estadísticas significativas en la aparición de plagas y enfermedades en el café que estén asociadas a la sombra, estos datos difieren de los encontrados por Guharay *et ál.* 2001, donde diseñan el manejo del sistema agroforestal para poder suprimir plagas y enfermedades, esto definitivamente muestra que aspectos de manejo probablemente hicieron que los resultados del presente estudio no fueran significantes, de forma general se puede apreciar que la roya está ligada a variedades susceptibles y exceso de sombra en el café y la antracnosis está ligada a cafetales a pleno sol, datos similares se encontraron por Pico Rosado 2014 en un estudio de los efectos de la sombra en la roya del café.

Figura 4. Impactos al cambio climático en territorios de forestería comunitaria



El efecto de la sombra como practica de adaptación está plenamente comprobada en el presente estudio ($p < 0.0001$), donde se encontraron varianzas de hasta 22 grados centígrados entre cafetales con sombra y a pleno sol, esto se ve evidenciado principalmente en los meses secos y en las horas de más radiación solar, estos datos son similares a los encontrados por Velasco *et ál.* 2001, donde a mayor temperatura las diferencias en el microclima se evidencian de mejor manera, tal es el caso de la radiación solar que incrementa las temperaturas principalmente en los cafetales sin sombrero. Similares efectos se encuentran en la humedad relativa y la temperatura del suelo según datos de Velasco *et ál.* 2001.

Pocos son los estudios que evalúan el efecto en el microclima de la utilización de sombra en el café, sin embargo los efectos en el café son conocidos, Brigido *et ál.* 2015 estudio efectos del cambio climático en la producción de café, el manejo agronómico, la fertilidad del suelo y la calidad de la taza, encontrándose inclusive la perdida de la vocación cafetalera en el suelo por diferencias altitudinales y cambios en el clima local, igualmente se han evaluado los servicios ecosistémicos que presta el sistema agroforestal de café, asociados en muchas ocasiones a temas de mejoramiento del microclima local (Castro-Vargas *et ál.* 2012; Gonzales *et ál.* 2007). El presente estudio es referencia para la cuantificación del aporte en el mejoramiento del microclima local de los sistemas agroforestales con café.

Figura 5. Comportamiento de microclimas en el suelo en 3 prácticas implementadas por los cafetaleros de los territorios de forestería comunitaria.



Conclusiones

Existe un alto grado de vulnerabilidad de los productores en los territorios de forestería comunitaria, esto debido a que existe un incremento de la susceptibilidad a efectos extremos del clima y mayores impactos visibles en la fisiología de la planta, principalmente en cuanto a la aparición de las plagas y enfermedades y los cambios abruptos en la temperatura.

Existen diferencias estadísticas entre los microclimas con prácticas de adaptación y sin prácticas de adaptación, una de las principales variables afectadas es la temperatura que en tiempos de verano puede disminuir la temperatura global en hasta 22 grados centígrados en el cafetal, esto es una de las principales potencialidades que el productor de café debe aprovechar de colocar sombra o cobertura al suelo.

Recomendaciones

Es importante profundizar en otras variables que inciden en la efectividad de la práctica de adaptación propuesta para tener un panorama más amplio de la situación en dichos territorios, principalmente a lo que tienen que ver con plagas y enfermedades y a nutrición del cafetal ya que los resultados del presente estudio no fueron concluyentes.

Se recomienda realizar un estudio de las variables paisajísticas de los usos cafetaleros en los territorios, ya que es muy grande la discusión referente a si los sistemas productivos que utilizan agroforestería son realmente sostenibles y no representan una amenaza a la hora de reducir las emisiones GEI de los sectores productivos.

Referencias

- Altieri, M. A., Nicholls, C. I., Henao, A., & Lana, M. A. (2015). Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 1-22.
- Brigido, J.G.; Nikolskii, I.; Terraza, L.; Herrera, S. S. (2015) Estimación del impacto del cambio climático sobre la fertilidad y productividad del café en Veracruz, México, Tecnología y Ciencias del agua, Volumen VI, Número 4, pp. 110-116.
- Castro Vargas, L.; Suárez Salazar, J. C.; López Pantoja, C. F. (2012) Conocimiento local de los servicios ecosistémicos de arreglos agroforestales de Café (*Coffea arabica* L.) del sur de Colombia. *Ingenierías & Amazonia* 5(1).
- Chavarría-Bolaños, N.; Tapia-Fernández, A. C.; Soto, G.; Virginio-Filho, E. (2012) Efecto de diferentes sistemas de manejo sobre la calidad del suelo, en fincas cafetaleras de la zona de Turrialba y Orosi. *InterSedes*. Vol. XIII. (26-2012) 85-105 ISSN: 2215-2458.
- Delgado, J.A., Groffman, P.M., Nearing, M.A. *et al.* (2011) Conservation practices to mitigate and adapt to climate change. *J. Soil Water Conserv.*, 66, 118A-129A.

- Harvey, C.A. , M. Chacon, C. Donatti, E. Garen, L. Hannah, A. Andrade, L. Bede, D. Brown, A. Calle, J. Chara, C. Celment, E. Gray, M.H. Hoang, P. Minang, A.M. Rodriguez, C. Seeberg-Elverfeldt, B. Semroc, S. Shames, S. Smuckler, E. Somarriba, E. Torquebiau, J. van Etten and E. Wollenberg. (2014) Climate-smart landscapes: Opportunities and challenges for integrating adaptation and mitigation in tropical agricultural landscapes. *Conservation Letters*, 7(2): 77-90.
- Hobbs, P. R. (2007) Conservation agriculture: what is it and why is it important for future sustainable food production? *J. Agric. Sci.*, 145(2), 127
- Matocha, J., Schroth, G., Hills, T. & Hole, D. (2012) Integrating climate change adaptation and mitigation through agroforestry and ecosystem conservation. *Adv. Agroforest.*, 9, 105-126
- Munguía, R.; Beer, J.; Harmand, J. M.; Haggar, J.; (2004) Tasas de descomposición y liberación de nutrientes de la hojarasca de *Eucalyptus deglupta*, *Coffea arabica* y hojas verdes de *Erythrina poeppigiana*, solas y en mezclas. *Agroforestería de las américas* No 41-42.
- Velasco, E.; Verdecia, J.; Medina, R.; Rodríguez, L. Variaciones en el microclima de un cafetal en dependencia de la exposición a la radiación solar en las condiciones del macizo de la sierra maestra. *Cultivos Tropicales*, vol. 22, núm. 3, (2001) pp. 53-59
- Verchot, L.V., Noordwijk, M., Kandji, S. *et al.* (2007) Climate change: linking adaptation and mitigation through agroforestry. *Mitig. Adap. Strat. Global Change*, 12, 901-918.
- Vignola, R., C.A. Harvey, P. Bautista-Solis, J. Avelino, B. Rapidel, C. Donatti and R. Martínez. (2015) Ecosystem-based adaptation for smallholder farmers: definitions, opportunities and constraints. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, in review.



Guia Para Autores

Tatascan es la revista forestal técnico-científica de la Universidad Nacional de Ciencias Forestales (UNACIFOR), publicada semestralmente en Junio y Diciembre. Tatascan publica artículos científicos del sector forestal de interés actual asociados con la investigación y aplicación del conocimiento ecológico en el manejo de bosques naturales y artificiales, y conservación de los recursos naturales.

Un artículo sometido a revisión para publicación en Tatascan debe ser original y los resultados deben ser de una investigación original. Los resultados no deben haber sido previamente publicados en ninguna forma en otro medio publicitario (a excepción en la forma de resumen (Abstract) o un artículo publicado como parte de una tesis académica), ni tampoco estar en revisión para publicación en otra revista al mismo tiempo que son sometidos al Tatascan.

Todo artículo aprobado para publicación en Tatascan debe ser aprobado por todos los autores. Una vez aceptado para publicarse en Tatascan, el artículo no podrá publicarse en ninguna otra parte en la misma forma, en español u otro idioma, sin el permiso por escrito de la UNACIFOR.

El área de la revista incluye todos los ecosistemas forestales tropicales. Artículos de investigaciones forestales de interés actual, de origen nacional o internacional, son sometidos a un proceso de revisión por un Comité Editorial que asegura la calidad y el interés de los artículos aceptados para publicación.

Con la publicación de artículos, la revista se establece como meta motivar la comunicación entre investigadores/investigadoras forestales en diferentes áreas quienes comparten intereses comunes en el manejo de recursos naturales, incluyendo las áreas de ecología, manejo forestal, tecnología e industrialización de la madera.

Fechas importantes:

Edición publicada en junio

Hasta el 31 de enero 4° semana de febrero	Hasta el 31 de enero se reciben artículos 4 semana de febrero un miembro del Comité Editorial contacta al autor sobre condición del artículo. Se incluyen sugerencias y comentarios sobre el mismo para la revisión y corrección.
--	---

Inicia comunicación entre autor y miembro del Comité Editorial

3° semana de abril	Autor debe enviar al miembro de Comité Editorial el artículo corregido de acuerdo a sugerencias y comentarios dados.
Mayo y junio	Impresión del artículo
1 semana de julio	Distribución de publicación

Edición publicada en diciembre

Hasta el 31 de julio 4 semana de agosto	Hasta el 31 de julio se reciben artículos 4 semana de agosto un miembro del Comité Editorial contacta al autor sobre condición del artículo. Se incluyen sugerencias y comentarios sobre el mismo para la revisión y corrección.
--	--

Inicia comunicación entre autor y miembro del Comité Editorial

3 semana de octubre	Autor debe enviar al miembro del Comité Editorial el artículo corregido de acuerdo a sugerencias y comentarios dados.
Noviembre y diciembre	Impresión del artículo
1 semana de enero	Distribución de publicación

Todo artículo enviado para publicarse en la revista Tatascan será revisado por el Comité Editorial y si cumple con las normas de calidad técnica y científica será publicado. El autor es responsable de seguir los lineamientos aquí señalados para que su artículo pueda ser publicado.

Los autores deberán enviar dos copias del artículo. También se debe enviar el artículo en versión electrónica grabado en disco compacto. Los archivos deben ser guardados en el formato original del procesador de palabras u hoja electrónica de cálculos usados, de preferencias Microsoft Word o Excel.

El texto del procesador de palabras debe estar escrito en un formato de una sola columna. El artículo debe estar impreso en papel bond tamaño carta, escrito a un solo lado de la hoja, a doble espacio y con 2 cm de margen a ambos lados. El artículo debe estar escrito en forma concisa, y preferiblemente no debe tener más de 25 páginas. El artículo debe estar escrito en tipo de letra Arial tamaño 12. El texto debe aparecer sin borrones, añadiduras o correcciones. Las páginas deben numerarse correlativamente al extremo superior derecho de la hoja, con el apellido del autor principal, y deben enumerarse las líneas por página para facilidad en la revisión (Anexo 1).

El nombre y la dirección postal, electrónica y número de teléfono del autor principal o los autores deben aparecer seguida del título en la primera página (Anexo 1).

Los artículos serán publicados en español, con el resumen traducido al inglés. El autor es responsable de la traducción.

El artículo debe ser escrito observando estricta economía en el uso de palabras. Con cuadros e ilustraciones consistentes con una comunicación efectiva.

Tatascan, como toda revista internacional técnico-científica, esta regido por los derechos de autor y por lo tanto no permitirá plagio en ningún artículo. Lo expuesto publicados en artículos de Tatascan es responsabilidad del autor o autores. La mención de nombres de productos y/o casa comerciales en un artículo publicado en Tatascan se debe incluir como información, pero no implicará recomendación por parte de la revista.

La referencia de citas bibliográficas en el texto puede hacerse usando dos modalidades. En citas al final del párrafo debe hacerse indicando el primer apellido del autor y el año de la publicación entre paréntesis. Ejemplo (López 1999). Al inicio de párrafos deben hacerse indicando el primer apellido del autor seguido por el año de la publicación entre paréntesis; por ejemplo según Martínez (1986). Si hay más de tres autores se lista sólo el primer apellido del autor principal en el texto con la abreviatura et al. Ejemplo (Reyes *et al.* 2004). Referencias no publicadas, así como comunicaciones personales, deben ser insertadas en el texto indicando esta condición con llamadas a pie de página.

El hecho de enviar un artículo para publicación, no implica obligatoriamente su aceptación. Una vez revisado el artículo, el miembro del Comité Editorial comunicará la decisión tomada al autor o los autores. Esta podrá incluir comentarios, recomendaciones y modificaciones que se consideren necesarios.

Todo artículo debe tener la siguiente secuencia:

TITULO: el titulo debe ser claro, conciso y específico, preferiblemente no pasar de 20 palabras. El titulo debe de ir en l primera pagina (Anexo I).

Autores: los autores deberán indicar sus nombres completos. El nombre, la dirección postal , electrónica y numero de teléfono del autor principal o los autores deben aparecer después del titulo en la primera pagina (Anexo I). Tanto el autor como coautores (si los hubiera) son responsables del contenido del artículo.

La dirección electrónica será el medio de comunicación más efectivo entre el Comité Editorial de Tatascan y el autor principal. El autor principal es responsable de revisar su correo electrónico donde recibirá notificaciones del Comité Editorial sobre la situación de su artículo.

RESUMEN: debe ser una síntesis del contenido del artículo. No deberá exceder de 200 palabras (a partir de la segunda pagina).

ABSTRACT: el abstract debe ser una traducción exacta del resumen en español al inglés.

PALABRAS CLAVES: se debe proveer un máximo de cinco palabras claves que no aparezcan en el titulo, las cuales sirvan como orientadoras del contenido del artículo.

INTRODUCCION: Es una compilación del tema de investigación. Se determina la base de importancia del estudio y se incluye referencias asociadas a lo que ya se ha investigado en literatura pública. Se incluye el objetivo (los objetivos) y/o la hipótesis (la hipótesis) que se estableció (establecieron) en la investigación.

MATERIALES Y METODOS: La descripción del sitio de estudio, materiales y metodología seguida debe ser concisa. En caso de describir equipos o técnicas ya utilizadas deberá incluirse la cita bibliográfica mencionando las modificaciones introducidas si la hubiera.

RESULTADOS: Deberán presentarse los resultados obtenidos en forma ordenada y concisa. Deberán incluirse cuadros, graficas, o figuras que faciliten la visualización de la información presentada.

DISCUSION: Debe ser una interpretación analítica de los resultados. Se debe profundizar en las contribuciones de la investigación, comprando los resultados con literatura ya publicada.

CONCLUSIONES: Esta sección debe ofrecer una recapitulación de los resultados y discusión. Deben presentarse en orden de importancia estableciendo las contribuciones del artículo.

RECONOCIMIENTO: (opcional) concierne a algún agradecimiento para el patrocinador del financiamiento, contribución o revisión técnica de un colega, etc.

BIBLIOGRAFIA: Presente las citas bibliográficas en orden alfabético. Las comunicaciones personales no deben aparecer en la bibliografía.

Ejemplos:

Libro:

HOLDRIDGE, L. R. 1987. Ecología basada en zonas de vida. Servicio Editorial IICA, San José, Costa Rica 216 p.

Tesis:

CHAVEZ, M. 2002. Estudio sobre estructura y composición florística de la reserva biológica de lancetilla utilizando cinco tamaños de parcela. Tesis Ingeniero en ciencias forestales, Escuela Nacional de Ciencias Forestales, Siguatepeque, Honduras, 89 p.

Artículos de revista:

Elvir J. WIERSMA, G., WHITE, A. y FERNADEZ, I. 2003. Effects of chronic ammonium sulfate treatment on basal area increment in red spruce and sugar maple at the Bear Book Watershed in Maine. Canadian Journal of Forest Research. 33,862-869.

HUGHES, C. 1988 apertura de los conos de pino caribea con relación a densidad y contenido de humedad. El Tatascan, 3(4), 4-7.

Citas de internet: deben ser revisadas cuidadosamente e ingresar a la página web para corroborar su existencia al momento de citarla.

NASHOLM, T., NORHSTEDT H., KAREN, O., KYTO, M., y BJORKMAN, C. 2000. How are forest trees affected? En Effects of nitrogen deposition on forest ecosystems [En línea]. Editado por U. Bertills and T. Nasholm. Reporte 5067. Swedish Environmental Protection Agency. Disponible en: www.naturvardsverket.se/bokhandeln/pdf/620-6137-2 [citado 12 mayo 2004].

KENNEDY, F. 2004. How extensive are the impacts of nitrogen pollution in Great Britain's forests? [En línea] Disponible en: www.forestry.gov.uk/pdf/fro102nitro/pdf [citado 12 mayo 2004].

Ediciones especiales:

LOVETT, G. 1992. Atmospheric deposition and forest canopy interactions of nitrogen. En Atmospheric deposition and forest nutrient cycling. Editado por D. Johnson and S. Lindberg. Ecol. Stud. 91. Springer-Verlag, New York.

Notas Importantes:

Cuadros: El título debe estar en la parte superior y numerada (números arábigos) consecutivamente de acuerdo a como se cita en el texto. Notas a pie de página en cuadros, deben ser designadas con letras minúsculas. Cuando se preparen cuadros, use solamente líneas entre encabezados principales y no líneas entre cada fila (Anexo 3).

Figuras: Toda ilustración sea grafica, fotográfica, dibujo de líneas, mapas se designa como figura. La leyenda de la figura debe estar en su parte inferior (Anexo 3). Toda figura incluida en el texto debe ser mencionada, e.g. (Figura 1). Numere (números arábigos) las figuras consecutivamente de acuerdo a como se cita en el texto. Las figuras (incluyendo gráficos de hoja de cálculos o estadísticos) deben ser insertadas en el procesador de palabras como imagen.

Además de fotografías incluidas y citadas en el texto de un artículo, autores pueden enviar fotografías digitales de alta resolución asociadas con el artículo pero que no son referenciadas en el texto. Las fotografías deben ser adecuadas para impresión de alta calidad. Las fotografías deben mostrar materiales o equipo usados, y procesos durante la ejecución de la investigación. Una vez enviadas, las fotografías pueden ser usadas a discreción del editor en la presentación del artículo siguiendo el diseño de la revista.

Pie de página: La note de pie de página debe ser indicada en el texto con un numeral consecutivo después de la palabra que se refiere a la nota. No use asteriscos ya que generalmente son utilizados en literatura científica indicación de significancia estadística.

Nomenclatura: Al mencionar una especie botánica por primera vez, su nombre científico en cursiva debe ser seguido con la autoridad y entre paréntesis su nombre común. Subsecuentemente la especie puede ser referida con su nombre científico o común únicamente, pero siendo consistente.

e.g. *Bursera simaruba* (L.) Sarg. (Indio desnudo)

Abreviaturas: Todas las advertencias y siglas se deben escribir sin punto. Para las unidades de medidas incluidas en el texto se utilizara el sistema métrico decimal. Para unidades mas comunes use gramos (g), milímetro (mm), metro (m), hectárea (ha), kilometro (km), metros sobre el nivel del mar (msnm), litro (L), etc. Se aceptara dos formas de escribir cantidades definidas con un radio de unidades, por ejemplo, cincuenta kilogramos por hectárea pueden ser escrito como 50kg/ha o 50 kg ha⁻¹.

Todo artículo sometido por primera vez debe ser dirigido a:

Escuela de Ambiente y Desarrollo Revista Tatascan

Siguatpeque, Honduras, C.A.
Teléfono (504) 2773—0011
Fax (504) 2773-1650

Consultas pueden dirigirse a miembros del Comité Editorial a través de sus correos electrónicos.

Anexo 1. Ejemplo de primera página de un artículo sometido a publicación en Tatascan

AJUSTE DE FUNCIONES VOLUMETRICAS SOLIDA Y ASERRABLE PARA *Swietenia macrophylla* EN TRES AREAS BAJO MANEJO EN BELICE

Yanira Bonifacia Hernández*

Belmopan City, Belize. Teléfonos: (501) 6644186. e-mail: yanher77@yahoo.com.

**Autor para correspondencia*

César Augusto Alvarado

Departamento de Investigación Forestal Aplicada. ESNACIFOR. Apartado Postal #2.

Siguatepeque, Honduras.

Teléfono: (504) 2773 1650. e-mail: cesalbo48@yahoo.com

Wilber Sabido

Departamento Forestal. Forest Drive, Belmopan City, Belize. Teléfono: (501) 822-1524;

822-2079. e-mail: cfo@mnrei.gov.bz; fdbelize@gmail.com

Anexo 2. Ejemplo de Resumen en artículo sometido a publicación en Tatascan

RESUMEN

Belice es un país en vías de desarrollo cuya riqueza son los recursos naturales disponibles, especialmente los bosques. El presente estudio contribuye al manejo forestal sostenible a través de la elaboración de funciones volumétricas cúbicas y aserrables para *Swietenia macrophylla* en tres zonas de Belice: Programme for Belize (PFB), Yalbac y Bullridge. Se utilizó una muestra de 320 árboles a los que se hicieron mediciones del diámetro a la altura del pecho (DAP), altura comercial y altura total. Una vez talado el árbol, se dividió el largo comercial del fuste en diez segmentos de igual longitud y a cada una de las trozas se les registró el diámetro menor y mayor para obtener el volumen comercial del árbol. Se midió cada tabla aserrada del respectivo árbol, obteniendo el volumen de madera aserrada.

Utilizando los parámetros ya establecidos de volumen comercial por árbol y volumen de la madera aserrada, se elaboraron regresiones probando cuatro modelos de volumen local y ocho modelos de volumen general. Los índices de medidas de variabilidad de coeficiente de correlación "r", error estándar "S" y el coeficiente de variación "CV" fueron los criterios establecidos para seleccionar el modelo que presentó mejor precisión y mayor ajuste, donde se concluyó que el modelo "Logarítmico sin intercepto" tuvo el mejor ajuste en las tres zonas de estudio para obtener el volumen comercial en la tabla general, el modelo de "Berkhout" para volumen comercial en tabla local y "Logarítmico sin intercepto" para las ecuaciones elaboradas para determinar la necesidad de incluir un factor de corrección.

Palabras clave: coeficiente de correlación, desviación, error estándar, coeficiente de variación.

Anexo 3. Ejemplo de elaboración de cuadro y figura sometido a publicación en Tatascan

Cuadro 1. Resumen de modelos generales combinando la información de las tres zonas de estudio.

Tipo de volumen	Modelo	Ecuación	Fórmula	r	S	CV
VCG	Logarítmico sin intercepto	$V = b_1 d^{b_2} h^{b_3}$	$VC = 0.0003820343622 * DAP^{1.62} AC^{0.836}$	0.9165	0.1475	6.77
VCL	Berkhout	$V = b_0 d^{b_1}$	$VCL = 0.002009237464 * DAP^{1.72}$	0.8295	0.2056	9.43
VTL	Berkhout	$V = b_0 d^{b_1}$	$VTL = 0.00460782193 * DAP^{1.56}$	0.7849	0.2187	8.41
VTG	Logarítmico sin intercepto	$V = b_1 d^{b_2} h^{b_3}$	$VT = 0.002554241419 * DAP^{1.46} AT^{0.342}$	0.8025	0.2111	8.12
VA	Logarítmico sin intercepto	$V = b_1 d^{b_2} h^{b_3}$	$VA = 0.03238694 * DAP^{1.56} AC^{0.924}$	0.9171	0.1473	0.03

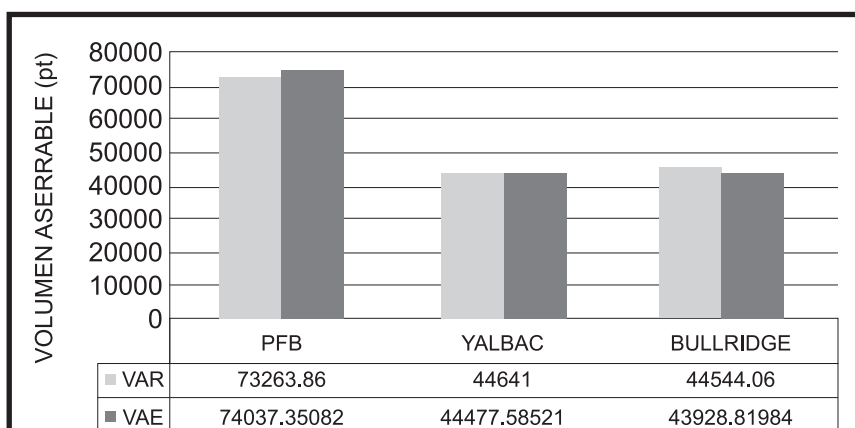


Figura 1. Comparación de volumen aserrado real con el volumen aserrado estimado de acuerdo al modelo general ajustado.

INSCRIPCION

REVISTA TECNICO-CIENTIFICA "TATASCAN".

Estimado lector:

Por este medio, la Universidad Nacional de Ciencias Forestales (UNACIFOR), ubicada en Siguatepeque, Honduras, C.A. ofrece a ud. la publicación semestral (2 por año) de **la revista técnico-científica denominada "TATASCAN"**. Esta revista contiene información valiosa para los empresarios forestales, propietarios de bosques, municipalidades, instituciones forestales, organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, cooperativas forestales, técnicos, profesores, investigadores, estudiantes y público en general que desea aplicar los conocimientos al manejo y utilización forestal, así como en la conservación de los recursos.

Para ordenar suscripción llene la forma siguiente y la envía por correo o fax con efectivo o cheque de pago a nombre de UNACIFOR así:

INSCRIPCION A REVISTA TECNICO-CIENTIFICA "TATASCAN"

Estoy interesado en la suscripción anual (2 números) de la revista forestal:

Nombre:

Profesión u oficio:

Empresa/Organización/Institución:

Ciudad:

Calle/Avenida:

Departamento/Provincia:

País:

Teléfono:

Fax:

Forma de pago:

Cheque Anual US\$ 18.00

(O su equivalente en lempiras)

INSCRIPCION

REVISTA TECNICO-CIENTIFICA "TATASCAN"

Estimado lector:

Por este medio, la Universidad Nacional de Ciencias Forestales (UNACIFOR), ubicada en Siguatepeque, Honduras, C. A. ofrece a ud la publicación semestral (2 por año) de la revista técnico-científica denominada "TATASCAN". Esta revista contiene información valiosa para los empresarios forestales, propietarios de bosques, municipalidades, instituciones forestales, organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, cooperativas forestales, técnicos, profesores, investigadores, estudiantes y público en general que desea aplicar los conocimientos al manejo y utilización forestal, así como en la conservación de los recursos.

Para ordenar suscripción llene la forma siguiente y la envía por correo o fax con efectivo o cheque de pago a nombre de UNACIFOR así:

Remitir esta forma a:

UNACIFOR

Escuela de Ambiente y Desarrollo

Apartado Postal No. 2

Siguatepeque, Comayagua

Honduras, C. A.

UNACIFOR también publica las siguientes series.

Para mayor información, favor marque con una "X"

Artículo Científico.....

Nota Técnica.....

Misceláneo.....

Manual Técnico.....

Boletín Técnico.....

Teléfono (504) 2720-2300
e-mail: biblioteca2018@unacifor.edu.hn



**Tus talentos y habilidades irán mejorando con el tiempo,
pero para eso has de empezar**

Martin Luther King

**He aprendido a arriesgarme a hacer cosas nuevas.
El crecimiento y la comodidad no pueden coexistir**

Virginia Rometty

**Anticiparse es el poder más importante.
Los perdedores reaccionan,
los lideres se anticipan**

Tony Robbins



Siguatepeque, Comayagua
Honduras, Centroamérica

UNACIFOR



7 701235 040018
REVISTA TÉCNICO CIENTÍFICA TATASCAN
Volumen 29, N° 2, Noviembre 2021