

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y
AMBIENTAL



UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN

BIOCHAR A PARTIR DE BIOMASA RESIDUAL DE
TRES VARIEDADES DE *Theobroma cacao* L.
PROVENIENTE DE SISTEMAS AGROFORESTALES
EN EL DISTRITO DE JAÉN, AÑO 2019.

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
FORESTAL Y AMBIENTAL

Autoras: Bach. Sulma Karina La Serna Cubas.
Bach. Stefany Alexandra Sanz Serrano.

Asesor: Ing. Henry William Sarmiento Castillo.

JAÉN - PERÚ, FEBRERO, 2020.



FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 25 de febrero del año 2020; siendo las ^{15:00}.....horas, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador:

Presidente Mg. Jorge Antonio Delgado Soto
Secretaria Mg. Annick Estefany Huaccha Castillo
Vocal Mg. María Marleni Torres Cruz

Para evaluar la Sustentación del Informe Final de Tesis titulado: BIOCHAR A PARTIR DE BIOMASA RESIDUAL DE TRES VARIETADES DE *Theobroma cacao* L. PROVENIENTE DE SISTEMAS AGROFORESTALES EN EL DISTRITO DE JAÉN, AÑO 2019; cuyos autores son los Bachilleres Sulma Karina La Serna Cubas y Stefany Alexandra Sanz Serrano de la Carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén; ha sido dictaminado como:

() Aprobar () Desaprobar () Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

Excelente	18, 19, 20	()
Muy bueno	16, 17	()
Bueno	14, 15	(<input checked="" type="checkbox"/>)
Regular	13	()
Desaprobado	12 ó menos	()

Siendo las ^{16:00}.....horas del mismo día, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Mg. Annick Estefany Huaccha Castillo
Secretaria Jurado Evaluador

Mg. Jorge Antonio Delgado Soto
Presidente Jurado evaluador

Mg. María Marleni Torres Cruz
Vocal Jurado Evaluador

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	1
ÍNDICE DE TABLAS	3
ÍNDICE DE FIGURAS	4
ÍNDICE DE MAPAS	6
ÍNDICE DE ANEXOS.....	7
RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
I. INTRODUCCIÓN.....	10
2.1. Objetivo principal	12
2.2. Objetivos específicos	12
III. MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1. Tipo y diseño de investigación empleada	13
3.2. Materiales y equipos	13
3.2.1. Equipos	13
3.3. Metodología	14
3.3.1. Ubicación del área de estudio.....	14
3.3.2. Población, muestra y muestreo	16
3.3.3. Recolección de materia prima	16
3.3.4. Acondicionamiento de la materia prima.....	16
3.3.5. Diseño y fabricación de una cámara de combustión.	17
3.3.6. Producción de biochar	19
3.3.7. Caracterización de biochar	19
3.3.8. Análisis estadístico	21
IV. RESULTADOS	22

4.1.	Diseño de cámara de combustión.	22
4.2.	Producción de biochar.	23
4.3.	Análisis físico elemental.....	23
4.4.	Análisis químico elemental.....	25
4.5.	Análisis de los nutrientes	28
V.	DISCUSIÓN.....	39
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	41
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
	ANEXOS.....	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Peso de las muestras de biomasa por cada tratamiento	16
Tabla 2: Relación de elementos constituyentes de la biomasa.....	20
Tabla 3: Rendimiento en la producción de biochar de las diferentes variedades de materia prima de <i>Theobroma cacao</i> L.....	23
Tabla 4. Promedio del rendimiento del biochar.	24
Tabla 5. Promedios de la conductividad eléctrica del biochar	25
Tabla 6. Promedios de pH del biochar	26
Tabla 7. Promedios de Capacidad de Intercambio Catiónico.....	27
Tabla 8. Promedios de nitrógeno total del biochar.....	28
Tabla 9. Promedios de fósforo total del biochar.....	29
Tabla 10. Promedios de sodio disponible del biochar.....	30
Tabla 11. Promedios de potasio del biochar.....	31
Tabla 12. Promedios de cobre del biochar.	31
Tabla 13. Promedios de calcio disponible del biochar	32
Tabla 14. Promedios de magnesio del biochar.....	33
Tabla 15. Promedios de hierro del biochar.....	34
Tabla 16. Promedios de manganeso del biochar	35
Tabla 17. Promedios de zinc del biochar.....	36
Tabla 18. Promedios de boro del biochar.....	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diseño de cámara de combustión interna.....	18
Figura 2. Diseño de cámara de combustión externa.....	18
Figura 3. Cámara de combustión de doble tambor.....	22
Figura 4. Promedios del rendimiento del biochar.....	24
Figura 5. Promedios de la conductividad eléctrica del biochar.....	25
Figura 6. Promedios de pH del biochar.....	26
Figura 7. Promedios de CIC del biochar.....	27
Figura 8. Promedios de contenido de nitrógeno total.....	28
Figura 9. Promedios de contenido de fósforo total.....	29
Figura 10. Promedios de contenido de sodio disponible.....	30
Figura 11. Promedios de contenido de potasio disponible.....	31
Figura 12. Promedios de contenido de cobre.....	32
Figura 13. Promedios de contenido de calcio.....	33
Figura 14. Promedios de contenido de magnesio.....	34
Figura 15. Promedios de contenido de hierro.....	35
Figura 16. Promedios de contenido de manganeso.....	36
Figura 17. Promedios de contenido de zinc.....	37
Figura 18. Promedios de contenido de boro.....	38
Figura 19. Materias primas seleccionadas para la producción de biochar.....	51
Figura 20. Peso de la materia prima.....	51
Figura 21. Disposición de la materia prima.....	52
Figura 22. Cámara de combustión para la producción de biochar.....	52
Figura 23. Procesos para la producción de biochar.....	53

Figura 24. Monitoreo de la temperatura.	53
Figura 25. Inicio del proceso de pirólisis.	54
Figura 26. Muestras representativas de biochar de cáscara de cacao.	54
Figura 27. Molienda y tamizado del biochar.	55

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1. Ubicación del área de estudio.....	15
--------------------------------------------	----

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Informe de ensayo del biochar.....	48
Anexo 2. Catálogo de variedades de <i>Theobroma cacao</i> L.....	50
Anexo 3. Panel fotográfico.....	51
Anexo 4. Resumen del análisis de varianza	55

RESUMEN

El presente trabajo se centra en la producción de biochar mediante pirólisis a partir de la biomasa residual de tres variedades de *Theobroma cacao* L. proveniente de sistemas agroforestales del distrito de Jaén para determinar su aptitud como una enmienda del suelo.

Durante la etapa de producción se evaluaron parámetros del proceso, tales como la temperatura de la cámara de combustión y rendimiento del material resultante.

El biochar resultante producido mediante pirólisis en un rango de temperatura de 400 – 550 °C fue comparado para conocer sus propiedades físicas y químicas más importantes.

Al evaluar las propiedades del biochar se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre la cáscara de cacao variedad Forastero, Criollo y Trinitario en fósforo, sodio, potasio, calcio, magnesio, manganeso y zinc. El biochar de cáscara de cacao variedad Criollo resultó superior en contenido de sodio (0.40 meq/100 g), potasio (97.08 gr/kg) y calcio (5.26 gr/kg), mientras que la variedad Forastero reportó mayor concentración de boro (42 ppm), fósforo (1381.53 mg/kg), magnesio (26.80 meq/100g) y manganeso (4.27 ppm), en tanto el Trinitario resultó superior en contenido de nitrógeno (1.57 %) y zinc (12.800 ppm).

Palabras clave: *Biochar; pirólisis; sistemas agroforestales; enmienda.*

ABSTRACT

This paper focuses on the production of biochar by pyrolysis from the residual biomass of three varieties of *Theobroma cacao* L. from agroforestry systems of the district of Jaén to determine its aptitude as a soil amendment. During the production stage, process parameters such as furnace temperature and performance of the resulting material were measured.

During the production stage, process parameters such as combustion chamber temperature and performance of the resulting material were evaluated.

The resulting biochar produced by pyrolysis in a temperature range of 400 °C – 550 °C was characterized to know its most important physical and chemical properties.

Statistically significant differences between the cocoa shell Forastero variety, Criollo and Trinitario in phosphorus, sodium, potassium, calcium, magnesium, manganese and zinc were found in assessing the properties of biochar. The cocoa shell biochar Criollo variety proved superior in sodium, potassium and calcium content, while the Forastero variety reported higher concentration of carbon, phosphorus, magnesium and manganese, while the Trinitario proved superior in content of nitrogen and zinc.

Keyword: *Biochar; pyrolysis; agroforestry systems; amendment.*

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, los suelos están sufriendo un desgaste constante de nutrientes, debido a diversos factores, entre ellos; la deforestación, la quema de áreas verdes, la contaminación en general, el uso inadecuado de abonos inorgánicos; conllevando a una baja producción agrícola con un impacto negativo en la economía de los agricultores; pues tienden a recurrir al uso de fertilizantes que muchas veces posee un costo elevado y atenta contra el medio ambiente.

En este ámbito, el uso de los residuos de cosechas para producir abonos, como una opción para mejorar la fertilidad del suelo, es una propuesta que cada día toma más fuerza (Zhang, 2016).

En el Perú, el cacao es el 6° cultivo más importante debido a la cantidad de productores, sobresaliendo por su valor y representatividad. Según (ENA, 2016) más de 138 mil productores tienen instalado cacao en sus unidades agropecuarias en la selva peruana, de los cuales más de 111 mil productores cosecharon cacao en la campaña 2015/2016.

Al momento de la cosecha, se separa la cáscara del fruto de las semillas y placenta, siendo el principal residuo la cáscara, que corresponde al 90 % del fruto (Graziani, 2002), al no tratar adecuadamente este residuo se convierte en un problema que pueden provocar contaminación en el agua, en el aire, afectar a los ecosistemas y a la salud humana.

La producción de biochar a partir de cáscara de cacao contiene mayor beneficio en rendimientos y propiedades, debido a su alto contenido de lignina (Torres 2016) , también tiene un impacto ambiental positivo ya que representa un modelo de agricultura sostenible, puesto que se aprovecha la biomasa residual convirtiéndola mediante un proceso de pirólisis, en carbón vegetal estable y altamente poroso, cuyo fin puede ser su utilización como enmienda orgánica para mejorar las propiedades fisicoquímicas del suelo, aumentar la productividad y para fijar el carbono.

Por tal motivo realizar un estudio sobre producción de biochar a partir de cáscara de cacao, permitirá al agricultor considerar una alternativa a esta materia orgánica. Además, permitirá una mejora económica, ya que a través de su producción el agricultor disminuirá o evitara la compra de fertilizantes, priorizando el uso de materia prima local.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo principal

Comparar biochar a partir de biomasa residual de tres variedades de *Theobroma cacao* L. proveniente de sistemas agroforestales en el distrito de Jaén.

2.2. Objetivos específicos

- Diseñar una cámara de combustión para la producción requerida de biochar, determinando las condiciones operacionales del proceso de pirólisis.
- Producir biochar a partir de biomasa residual de tres variedades de *Theobroma cacao* L. mediante proceso de pirólisis.
- Evaluar parámetros químicos en macro y micro nutrientes, rendimiento, propiedades físicas – químicas y efectuar la respectiva comparación de estas variables de biochar de las tres variedades de *Theobroma cacao* L.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Tipo y diseño de investigación empleada

Tipo de investigación

La presente investigación es cuantitativa, debido a que se seleccionó el diseño una vez planteado el problema de investigación e hipótesis, siendo necesario obtener una muestra, en forma aleatoria, pero representativa de una población de estudio. (Tamayo, 2007)

Diseño de investigación

Esta investigación es de diseño experimental, ya que es un estudio en donde manipulan intencionalmente una o más variables independiente, para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes, dentro de una situación de control creada por el investigador. (Gómez, 2006)

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Equipos

- Termómetro Infrarrojo de 550 °C
- Balanza

3.2.2. Materiales

➤ **Materiales de origen biológico**

- Cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.)
- Leña
- Hojarasca

➤ **Materiales de campo**

- Cámara fotográfica
- Libreta de apuntes
- Sacos de 30 kg

- Hacha
- Guantes de protección térmica
- Mascarilla desechable.

➤ **Materiales de laboratorio**

- Tamiz N° 100 con capacidad de (150 μ m)
- 3 recipientes de plástico con capacidad de 10 kg.
- Mascarillas
- Mortero

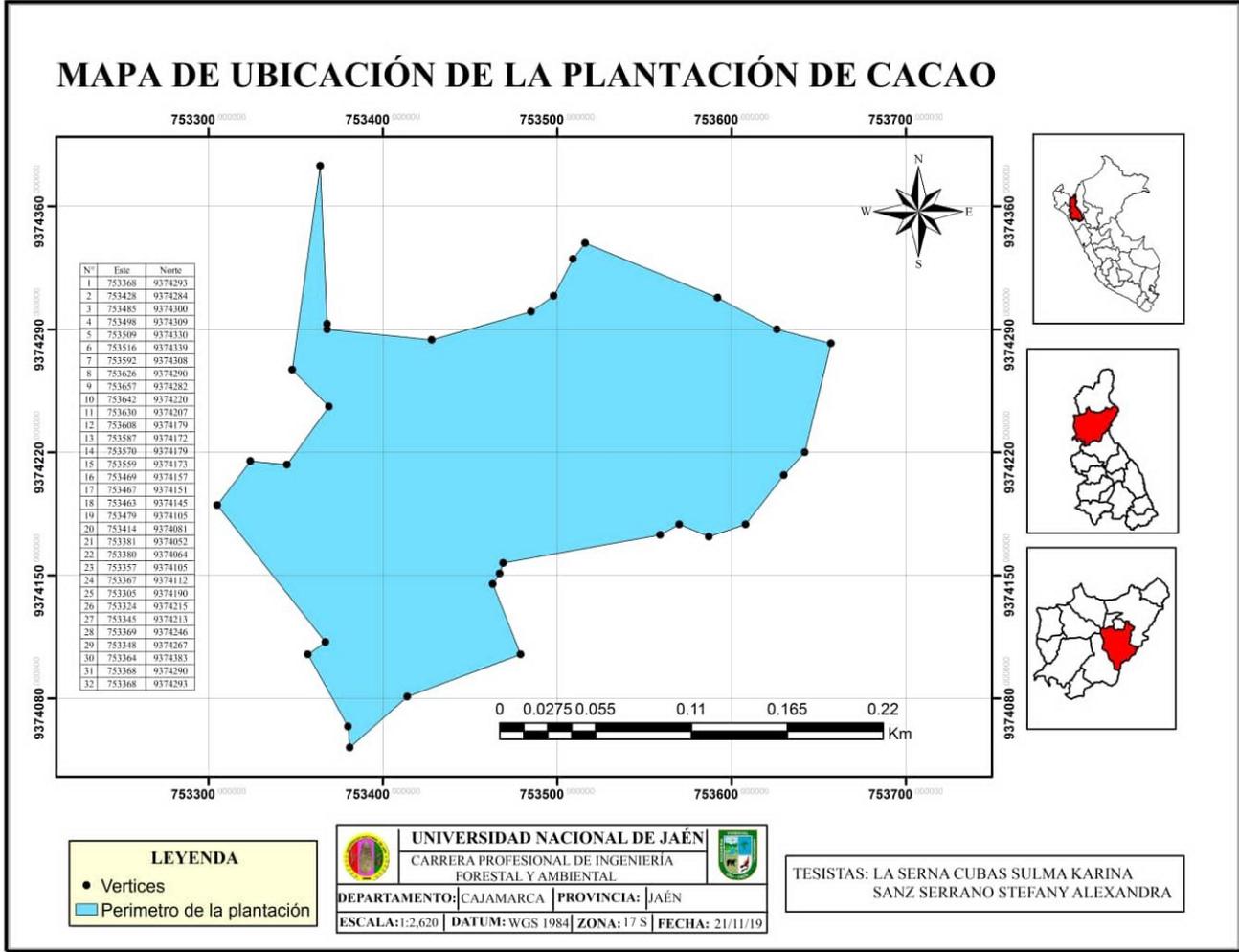
3.3. Metodología

3.3.1. Ubicación del área de estudio

Las muestras de las tres variedades de *Theobroma cacao* L. se recolectaron en el vivero cacaotero denominado “El Paraíso”, ubicado en Santa Cruz del distrito de Bellavista, provincia Jaén, departamento de Cajamarca (INEI 2019), cuya altitud es de 477 m.s.n.m y está situada geográficamente a 754668 m de latitud Este y 9374772 m de longitud Oeste.

La producción de biochar se realizó en campo abierto dentro de un terreno de 8x20 m² perteneciente a la propietaria Anita Lozano Leon, ubicado en la calle Iquitos N° 2910 provincia y distrito de Jaén, departamento de Cajamarca, cuya altitud es de 729 m.s.n.m y está situada geográficamente a -5.704182, -78.813431

El acondicionamiento de las muestras de biochar se realizaron el en laboratorio de la Universidad Nacional de Jaén y los análisis experimentales se realizaron en el laboratorio de SGS (Société Générale de Surveillance) del Perú, ubicado en el distrito del Callao, ciudad de Lima.



Mapa 1. Ubicación del área de estudio

3.3.2. Población, muestra y muestreo

- **Población**

Biomasa residual de tres variedades de *Theobroma cacao* L. provenientes del vivero cacaotero “El Paraíso”, ubicado en Santa Cruz de Bellavista – Jaén.

- **Muestra**

Tabla 1. Peso de las muestras de biomasa por cada tratamiento

Tratamiento N° 1	Tratamiento N° 2	Tratamiento N°3
15 Kg de <i>Theobroma cacao</i> L. variedad Forastero	19 Kg de <i>Theobroma cacao</i> L. variedad Criollo	22 Kg de <i>Theobroma cacao</i> L. variedad Trinitario
15 Kg de <i>Theobroma cacao</i> L. variedad Forastero	19 Kg de <i>Theobroma cacao</i> L. variedad Criollo	22 Kg de <i>Theobroma cacao</i> L. variedad Trinitario
15 Kg de <i>Theobroma cacao</i> L. variedad Forastero	19 Kg de <i>Theobroma cacao</i> L. variedad Criollo	22 Kg de <i>Theobroma cacao</i> L. variedad Trinitario

- **Muestreo**

Aleatorio simple: Es una técnica básica en donde todos los elementos dentro del marco tienen las mismas posibilidades de selección, que cualquier otro. Además cada muestra de un tamaño fijo tiene las mismas posibilidades de selección que cualquier otra muestra del mismo tamaño. (Malhotra 2014)

3.3.3. Recolección de materia prima

Una vez realizada la cosecha y aprovechamiento del fruto *Theobroma cacao* L., los residuos fueron depositados en campo, aquí, se hizo el reconocimiento de cada variedad para luego recolectar las cáscaras en muestras homogéneas entre 15 y 22 kg de cada variedad.

3.3.4. Acondicionamiento de la materia prima

A las muestras recolectadas se le redujeron su porcentaje de humedad, colocándoles sobre un piso de cemento, en un ambiente abierto y bajo techo para protegerlas de la lluvia, por 7 días, debido a que las cáscaras contienen hasta un 80 % de humedad (Sánchez 2013).

Considerando que las cáscaras de *Teobroma cacao* L. tienen un regular tamaño, y aprovechando su estado fresco, se trituraron pequeñas fracciones, para acelerar el secado y asegurar un completo nivel de pirolisis.

3.3.5. Diseño y fabricación de una cámara de combustión.

Se diseñó dos tambores cilíndricos uniformes, pero de diferente tamaño, para producir biochar en pequeñas cantidades, con el propósito de análisis e investigación. La capacidad fue diseñada para 10 kg. A la vez se hizo la selección del material adecuado (acero inoxidable) para la construcción de dicha cámara, teniendo en cuenta que el proceso de pirolisis requiere temperaturas altas.

Componente y dimensiones:

- Un **tambor cilíndrico pequeño:** Simboliza la cámara de combustión interna, su medida dependió de la cantidad de biomasa residual. Las dimensiones fueron de 50 cm de diámetro y 80 cm de alto, con un volumen de 0.157 m^3 y su capacidad fue de 10 kg. También contó con una tapa que encajaba al tambor de modo que fuera completamente hermética.
- Un **tambor cilíndrico grande:** Simboliza la cámara de combustión externa, este va a contener el tambor cilíndrico pequeño, su medida depende de la cantidad de material combustible con el que se llenará para asegurar una pirolisis lenta. Las dimensiones fueron de 80 cm de diámetro y 110 cm de alto, con un volumen de 1.45 m^3 . Alrededor del tambor, en la parte superior se perforaron una serie de orificios y en la parte inferior se hicieron unas aletas regulables para la aireación de la cámara de combustión. También contó con una tapa, la cual tuvo incorporada una chimenea de 20 cm de alto para una adecuada ventilación.

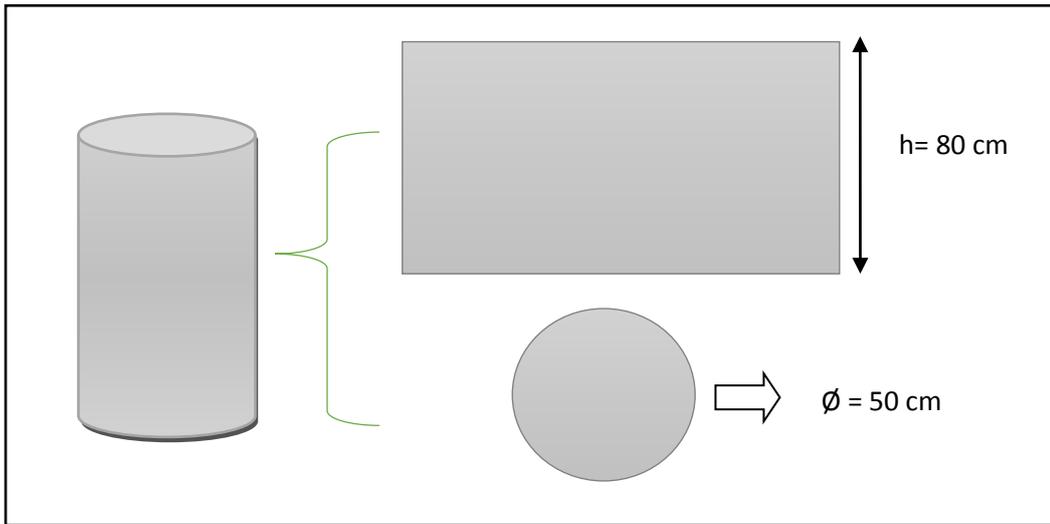


Figura 1. Diseño de cámara de combustión interna.

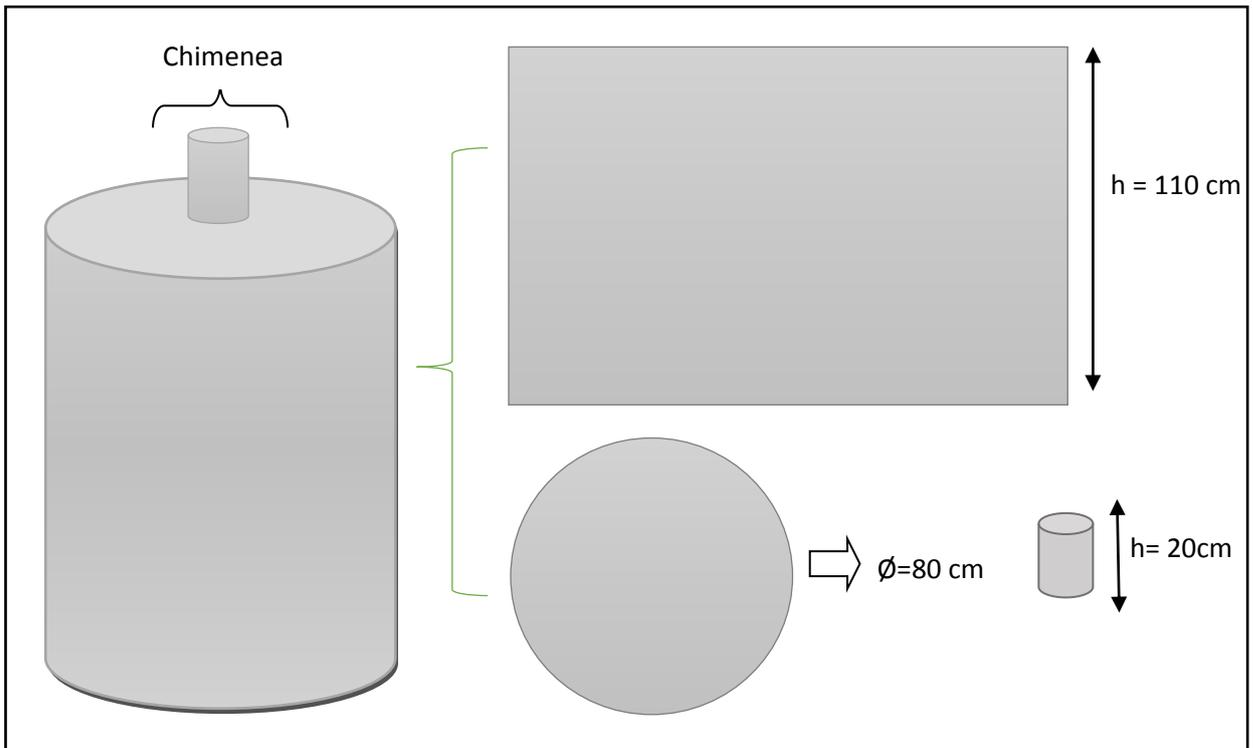


Figura 2. Diseño de cámara de combustión externa

3.3.6. Producción de biochar

Una vez reducido el porcentaje de humedad de las muestras de las tres variedades de *Tehobroma cacao* L., fueron pesadas para su posterior procesamiento en la cámara de combustión pirolítico. A continuación se detallan los pasos seguidos durante la producción de biochar:

- a) Se acondicionaron las entradas de aire de la cámara de combustión externa, para poder controlar la ventilación de la cámara de combustión por cada lote de producción de biochar, debido a que el proceso de pirólisis se lleva a cabo en condiciones limitadas de oxígeno.
- b) En la cámara de combustión interna se depositó la biomasa residual sin compactarla. Posteriormente se selló con la tapa asegurando que no ingrese o se limite el oxígeno, finalmente se le colocó en la cámara externa de forma invertida para permitir la salida de gases.
- c) El espacio libre que queda entre la cámara de combustión interna y la cámara externa fue llenada con material combustible tales como leña, ramas, hojas, entre otros, una vez completado cada espacio, se procede a incinerar el material, cuando la llama empieza a arder se procede a colocar con mucho cuidado la tapa de la cámara externa.
- d) Una vez iniciado el proceso de pirólisis se monitoreó constantemente la temperatura con ayuda de un termómetro infrarrojo, dirigiéndolo a la parte superior e inferior de la cámara externa.
- e) La duración del proceso de pirólisis duro un total de dos horas y media a tres horas aproximadamente, luego esperamos tres horas para su enfriamiento y posteriormente se retira la cámara de combustión interna para extraer el producto resultante de biochar.
- f) Este proceso se repitió tres veces por muestra y lote, teniendo todas las muestras de biochar, se etiquetaron, pesaron, para su posterior análisis.

3.3.7. Caracterización de biochar

a) Acondicionamiento de las muestras

El acondicionamiento de las muestras se determinó según los lineamientos de sample preparation de la Norma ASTM D1762-84 (07) (Standard Test Method for Chemic

Analysis of Wood Charcoal) y de los procedimientos realizados en investigaciones consultadas.

Molienda: Con ayuda de un mortero de porcelana se realizó por cada muestra una molienda blanda, por un tiempo corto, evitando excederse para prevenir partículas finas.

Tamizado: Una vez que se molieron las muestras, se tamizaron usando un tamiz N° 100 (150 µm), la porción retenida en la malla fue pesada y destinada para los análisis de nutrientes.

Secado: Las muestras fueron secadas nuevamente a una temperatura de 105 °C para que los resultados salgan libre de humedad, y no realizar corrección de su contenido.

b) Análisis de las propiedades químicas elementales

pH (1:10 sólido-líquido): Para la determinación del pH se siguieron los lineamientos análogos a la norma ASTM D1512 - 05 (Standard Test Methods for Carbon Black-pH Value) sobre una solución simple de biochar – agua (1:10).

c) Análisis de macro - micronutrientes

Se determinaron los siguientes elementos constituyentes:

Tabla 2: Relación de elementos constituyentes de la biomasa.

Macronutrientes	Micronutrientes
Nitrógeno (N) %	Hierro (Fe) ppm
Potasio (K) gr/kg	Manganeso (Mn) ppm
Calcio (Ca) gr/kg	Zinc (Zn) ppm
Magnesio (Mg) meq/100 g	Boro (B) ppm
Fósforo (P) mg/kg	Cobre (Cu) ppm
	Sodio (Na) meq/100 g

El análisis de constituyentes de biochar fue llevado a cabo por el SGS Laboratorio (Société Générale de Surveillance) del Perú ubicado en el distrito del Callao de la ciudad de Lima.

d) Análisis del rendimiento del biochar.

El rendimiento se calculó en base a la relación entre la cantidad o peso del producto final obtenido y la materia prima usada al inicio del proceso. La relación es expresada en porcentaje:

$$RENDIMIENTO = \left(\frac{PESO\ DEL\ BIOCHAR}{PESO\ DE\ LA\ BIOMASA} \right) \times 100$$

3.3.8. Análisis estadístico

Se utilizó el análisis de varianza (ANAVA) para la comparación de las propiedades y características de las tres variedades biochar. Después se realizó la prueba de Tukey para comparar cada variedad de biochar. Así también, se realizaron pruebas de correlación simple, entre las variables y por último se realizaron análisis de figuras para diferenciar el mayor valor de contenido nutritivo del biochar por cada variedad.

Los cálculos se realizaron en el programa de Hoja de Cálculo Excel.

IV. RESULTADOS

4.1. Diseño de cámara de combustión.

Se diseñó dos tambores cilíndricos uniformes de acero inoxidable pero de diferente tamaño (ver figura 3) para producir biochar en pequeñas cantidades, con el propósito de análisis e investigación.

El tambor cilíndrico pequeño simboliza la cámara de combustión interna, las dimensiones fueron de 50 cm de diámetro y 80 cm de alto, con un volumen de 0.157 m^3 y su capacidad fue de 10 kg.

El tambor cilíndrico grande simboliza la cámara de combustión externa, este va a contener al tambor cilíndrico pequeño. Las dimensiones fueron de 80 cm de diámetro y 110 cm de alto, con un volumen de 1.45 m^3 . Alrededor del tambor, en la parte superior se perforaron una serie de orificios y en la parte inferior se hicieron unas aletas regulables para la aireación de la cámara de combustión.



Figura 3. Cámara de combustión de doble tambor.

4.2. Producción de biochar.

Las muestras de biochar fueron producidas en un rango de dos horas y media a tres horas en una cámara de combustión de doble barril, aplicando el proceso de pirólisis lenta. Durante la producción la cámara de combustión se suministró material combustible (leña) y la temperatura se monitoreo durante todo el proceso con un termómetro infrarrojo, observando un rango de temperatura de 500 a 540 °C.

4.3. Análisis físico elemental

Rendimiento

Tabla 3: Rendimiento en la producción de biochar de las diferentes variedades de materia prima de *Theobroma cacao* L.

Materia Prima	Biomasa (Kg)	Biochar (Kg)	Rendimiento (%)	Tiempo (min)
<i>Theobroma cacao</i> L. tipo Trinitario				
T1 Cáscara	6.7	0.93	13.88	140
T2 Cáscara	7.2	1.10	15.28	155
T3 Cáscara	7.0	0.98	14.00	150
<i>Theobroma cacao</i> L. variedad Criollo				
T1 Cáscara	5.8	0.84	14.48	150
T2 Cáscara	4.9	0.75	15.31	135
T3 Cáscara	5.3	0.80	15.09	140
<i>Theobroma cacao</i> L. variedad Forastero				
T1 Cáscara	4.5	0.69	15.33	130
T2 Cáscara	6.4	0.90	14.06	145
T3 Cáscara	5.9	0.82	13.90	150

T1: Tratamiento N°1
T2 Tratamiento N°2
T3: Tratamiento N° 3

Tabla 4. Promedio del rendimiento del biochar.

	Tratamientos	Rendimiento (%)
Variedad Trinitario	T1	13.88
	T2	15.28
	T3	14.00
	Promedio	14.39
Variedad Criollo	T1	14.48
	T2	15.31
	T3	15.09
	Promedio	14.96
Variedad Forastero	T1	15.33
	T2	14.06
	T3	13.90
	Promedio	14.43

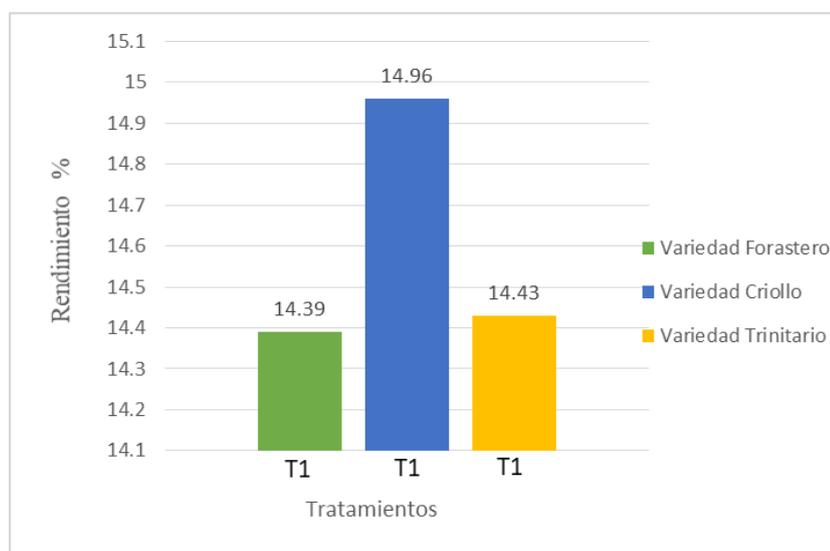


Figura 4. Promedios del rendimiento del biochar.

Se observa que mediante el proceso de pirólisis las muestras de las variedades de materia prima convertidas a biochar, reducen su volumen original hasta en un 61.52 % para la variedad Forastero, 42.9 % para la variedad Trinitario y 55.14 % para la variedad Criollo.

El rendimiento entre los tratamientos de los biocarbones presentan diferencias significativas. Como podemos observar en la figura 4, la media del rendimiento del biochar de la variedad Criollo resultó mayor (55.14 %) que de la variedad Trinitario (42.9 %) y Forastero (61.52 %).

4.4. Análisis químico elemental

Conductividad eléctrica

Tabla 5. Promedios de la conductividad eléctrica del biochar

Variedad	Suma	Promedios C.E (dS/m)
Forastero	126.30	42.10
Criollo	171.50	57.17
Trinitario	128.30	42.77

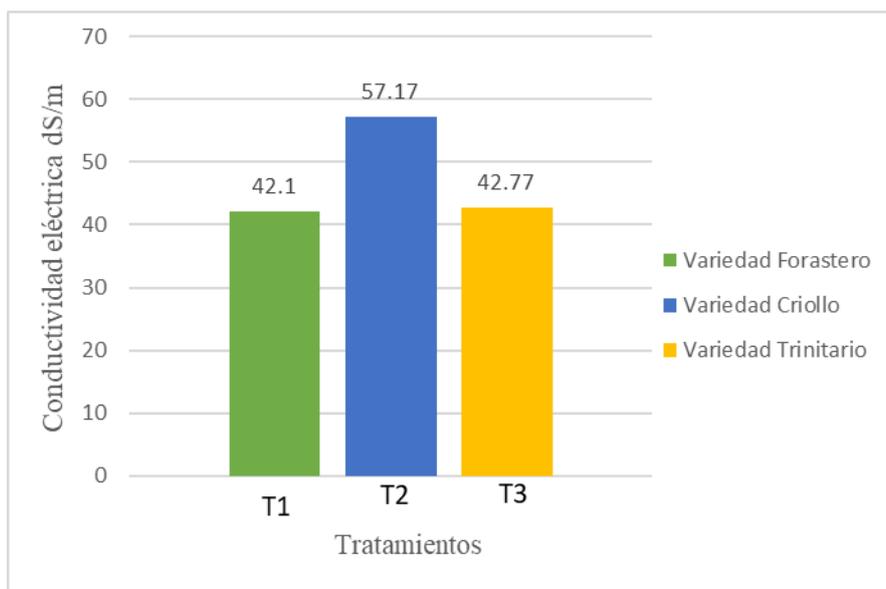


Figura 5. Promedios de la conductividad eléctrica del biochar.

Con respecto a la conductividad eléctrica, se observan en la figura 5, un mayor valor de 57.17 (dS/m) para la variedad Criollo, seguido de la variedad Trinitario con 42.77 (dS/m), y por último la variedad Forastero presento un valor más bajo con 42.1 (dS/m).

Los valores relativamente altos de conductividad eléctrica de la suspensión de biochar no resultan necesariamente un problema sobre el suelo, particularmente sobre zonas con constantes y abundantes lluvias que lavan permanentemente los suelos. Caso contrario la excesiva cantidad de sales tendría un efecto negativo en algunos cultivos.

pH

Tabla 6. Promedios de pH del biochar

<i>Variedad</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedios pH</i>
Forastero	30.30	10.10
Criollo	30.70	10.23
Trinitario	29.90	9.97

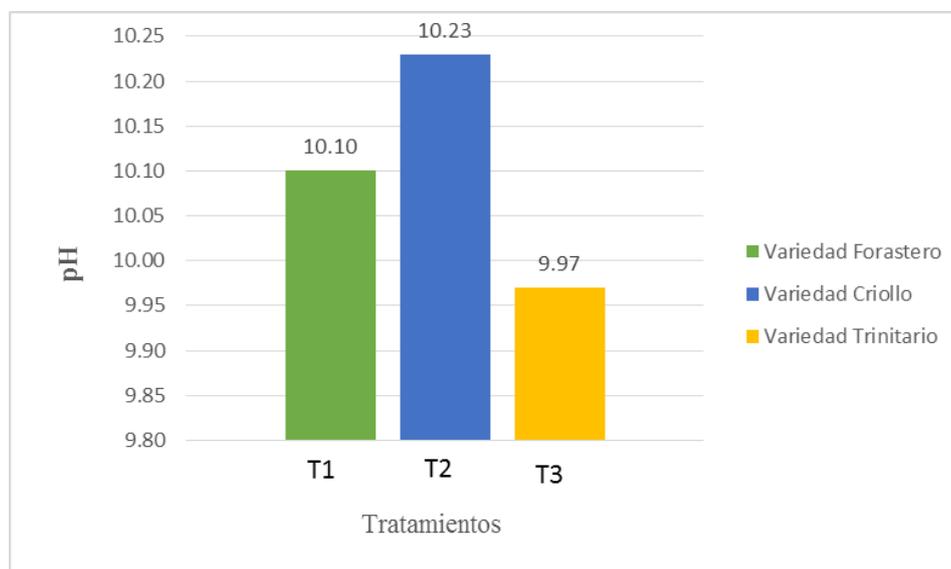


Figura 6. Promedios de pH del biochar.

Se puede observar en la figura 6, que la media de los valores pH del biochar de la variedad Criollo es mayor (10.23) que de la variedad Forastero (10.1) y Trinitario (9.97). Los datos de los valores del pH tienen una distribución homogénea debido a que no presenta diferencias significativas entre los tres tratamientos.

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

Tabla 7. Promedios de Capacidad de Intercambio Catiónico

<i>Variedad</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedios CIC</i> <i>(meq/100 g)</i>
Forastero	225.21	75.07
Criollo	188.15	62.72
Trinitario	251.88	83.96

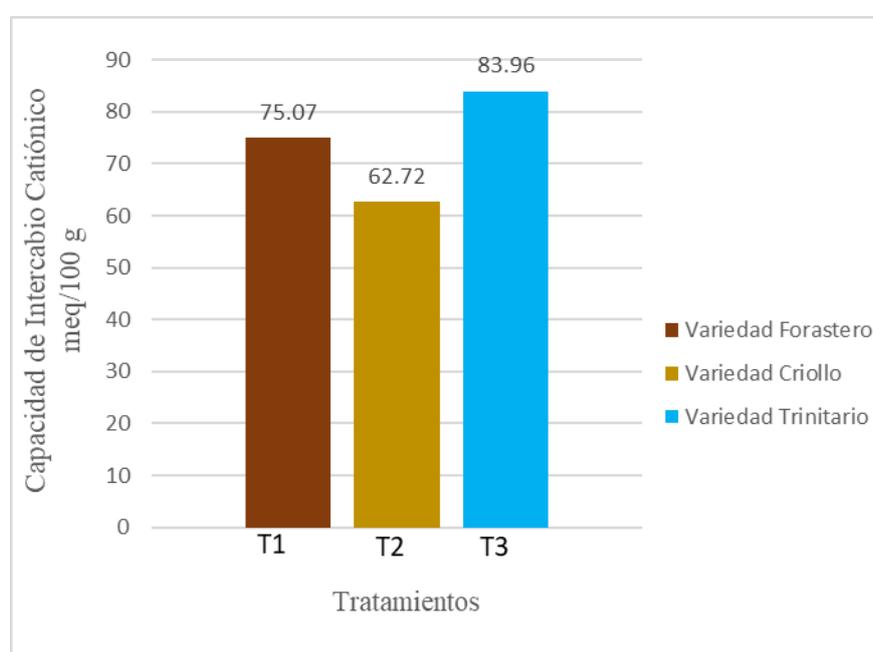


Figura 7. Promedios de CIC del biochar.

Como se puede observar en la figura 7, existe un mayor valor de 83.96 (Meq/100 g) para la variedad Trinitario, seguido de la variedad Forastero con 75.07 (Meq/100 g), y por último la variedad Criollo presenta un valor más bajo con 62.72 (Meq/100 g).

Una CIC alta es deseable porque hace menos probable la lixiviación y con eso contribuye a la retención de cationes como K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} . (Guerra, 2015). Cabe recalcar que la medición de la CIC de un biochar determina el nivel actual de dicha propiedad en el momento de la medición, debido a que con la incorporación en el suelo, las superficies de las partículas del biochar se oxidan e interactúan con los constituyentes del suelo, resultando en una mayor carga de superficie negativa, conduciendo finalmente a un aumento de la CIC (McElligott et al., 2011).

4.5. Análisis de los nutrientes

Nitrógeno total

Tabla 8. Promedios de nitrógeno total del biochar

Variedad	Suma	Promedio del N (%)
Forastero	4.14	1.38
Criollo	1.28	0.43
Trinitario	4.72	1.57

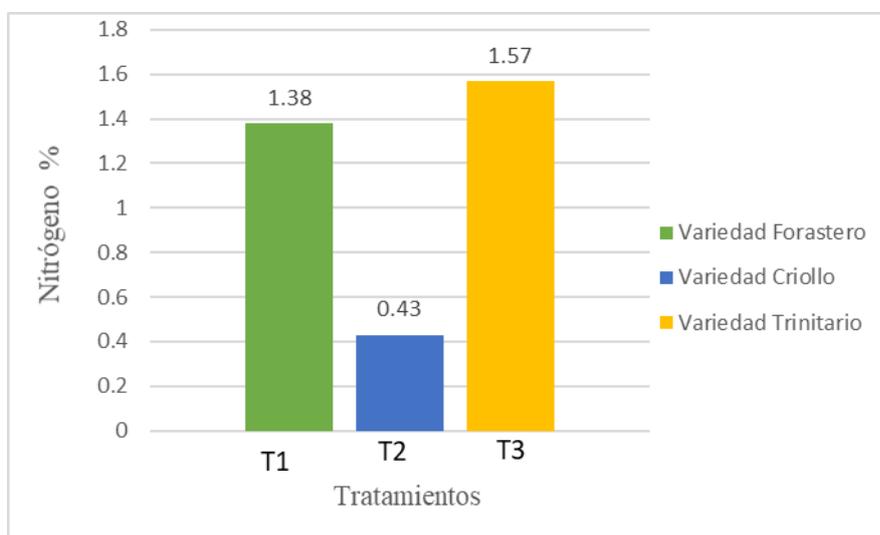


Figura 8. Promedios de contenido de nitrógeno total.

Como se puede observar en la figura 8, el nutriente nitrógeno total se encuentra en valores bajos comparados con los demás macronutriente, esto debido a que tiende a volatilizarse por ser el nutriente más susceptible al calor, es por eso que durante el proceso de pirolisis se reduce por las elevadas temperaturas.

Los biochars que presentan un mayor contenido de nitrógeno es la variedad Trinitario (1.57 %), seguido la de la variedad Forastero (1.38 %), mientras que la variedad Criollo es el que presenta el menor contenido de N (0.427 %).

Fósforo Total

Tabla 9. Promedios de fósforo total del biochar

Variedad	Suma	Promedio P (mg/kg)
Forastero	4144.60	1381.53
Criollo	3538.90	1179.63
Trinitario	4036.20	1345.40

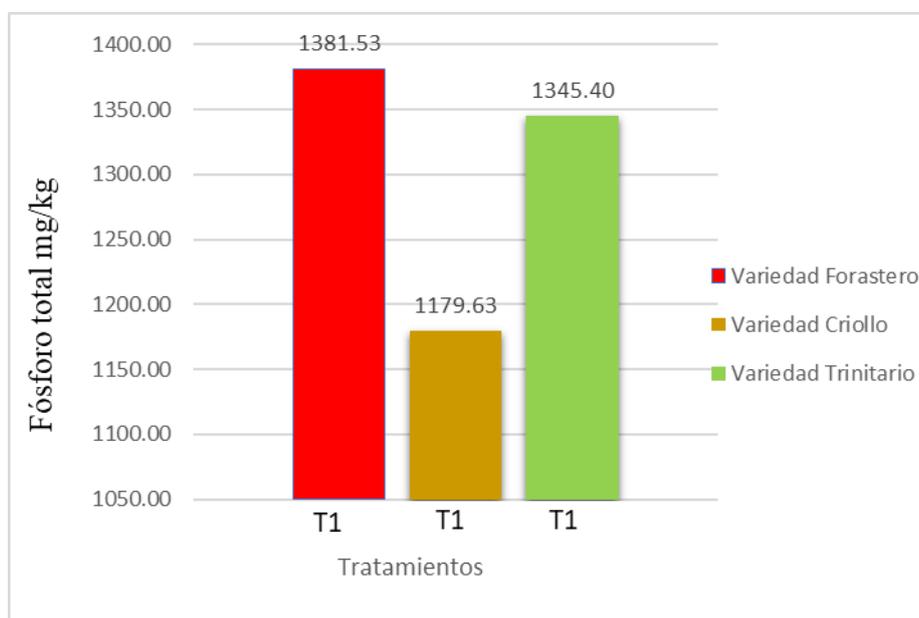


Figura 9. Promedios de contenido de fósforo total.

La figura 9, muestra la media de contenido de fósforo total del biochar de la variedad Forastero (1381.53 mg/kg) mayor que de la variedad Trinitario (1345.40 mg/kg) y Criollo (1179.63 mg/kg).

Las variabilidades de resultados en contenido de fósforo total, pueden ser atribuidas a la calidad de la materia prima y a las diferentes condiciones del proceso productivo, teóricamente el fósforo se volatiliza sobre los 700 – 800 °C. (Capraro, 2012)

Sodio disponible

Tabla 10. Promedios de sodio disponible del biochar.

Variedad	Suma	Promedio Na (meq/100 g)
Forastero	0.65	0.22
Criollo	1.20	0.40
Trinitario	0.54	0.18

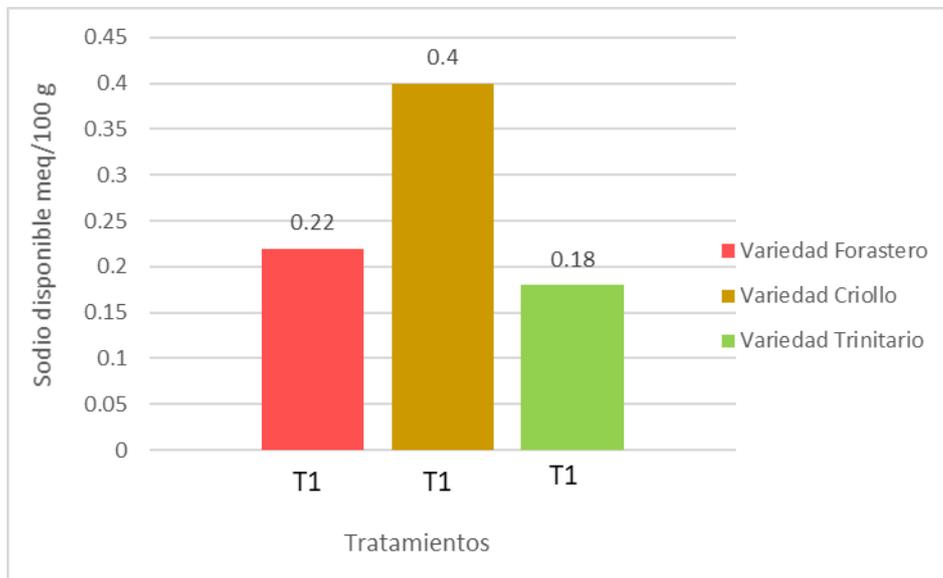


Figura 10. Promedios de contenido de sodio disponible.

Como se observa en la figura 10, según los resultados promedios obtenidos del contenido de sodio mediante análisis de datos de la conversión térmica de cáscara de cacao a biochar, muestran que la cantidad de sodio calculado en miliequivalente (meq) se distribuye de la siguiente manera: La variedad Forastero posee 0.22 meq/100 g; la variedad Criollo contiene 0.40 meq/100 g y la variedad Trinitario posee 0.18 meq/100 g, siendo este último el que posee menor cantidad de sodio.

Potasio disponible.

Tabla 11. Promedios de potasio del biochar

Variedad	Suma	Promedio K (gr/kg)
Forastero	281.77	93.92
Criollo	291.24	97.08
Trinitario	280.15	93.38

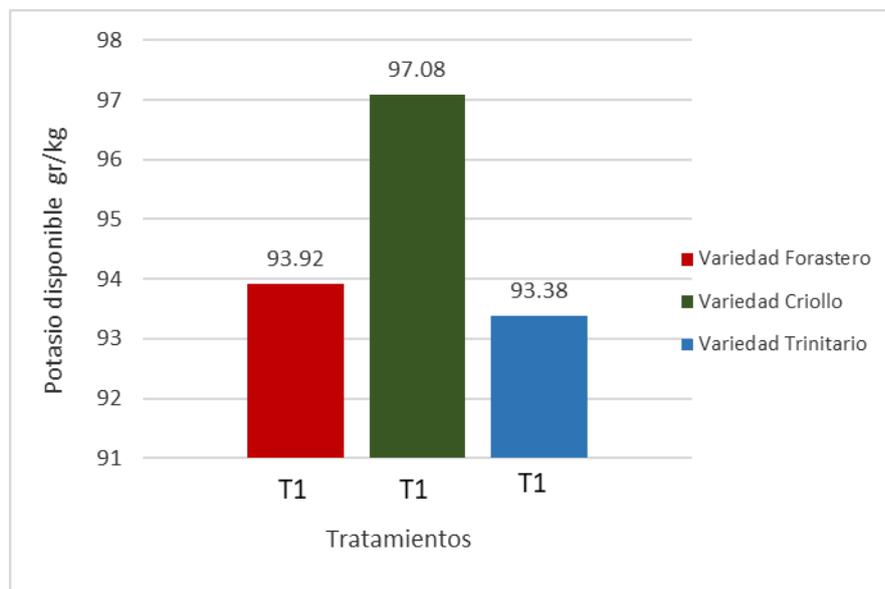


Figura 11. Promedios de contenido de potasio disponible.

Se puede observar la figura 11, el contenido de potasio presente en el biochar de la variedad Criollo fue de 97.08 gr/kg, el biochar de la variedad Forastero tiene 93.92 gr/kg, mientras para la variedad Trinitario resultó 93.38 gr/kg.

Cobre

Tabla 12. Promedios de cobre del biochar.

Variedad	Suma	Promedio Cu (ppm)
Forastero	3.30	1.10
Criollo	3.70	1.23
Trinitario	3.20	1.07

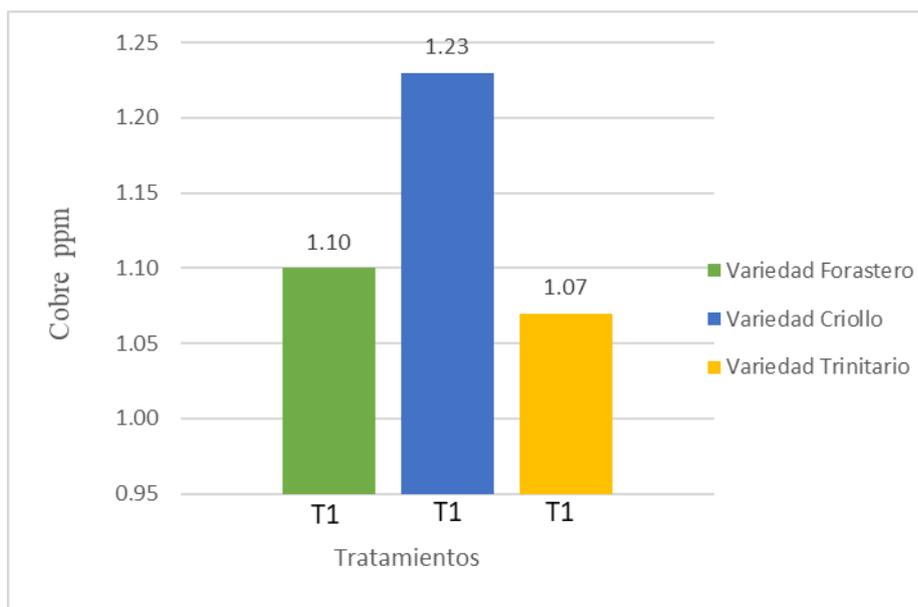


Figura 12. Promedios de contenido de cobre.

En la figura 12, realizado a partir de los promedios de cobre calculado en ppm, muestra que el biochar de cáscara de cacao variedad Criollo (T2) presenta mayor contenido de cobre con respecto al de variedad Forastero (T1) y variedad Trinitario (T3).

Las concentraciones de cobre del biochar se distribuye de la siguiente manera: T1 es 1.10 ppm, T2 es 1.23 ppm y T3 es 1.07 ppm.

Calcio disponible

Tabla 13. Promedios de calcio disponible del biochar

Variedad	Suma	Promedio Ca (gr/kg)
Forastero	9.49	3.16
Criollo	15.79	5.26
Trinitario	8.45	2.82

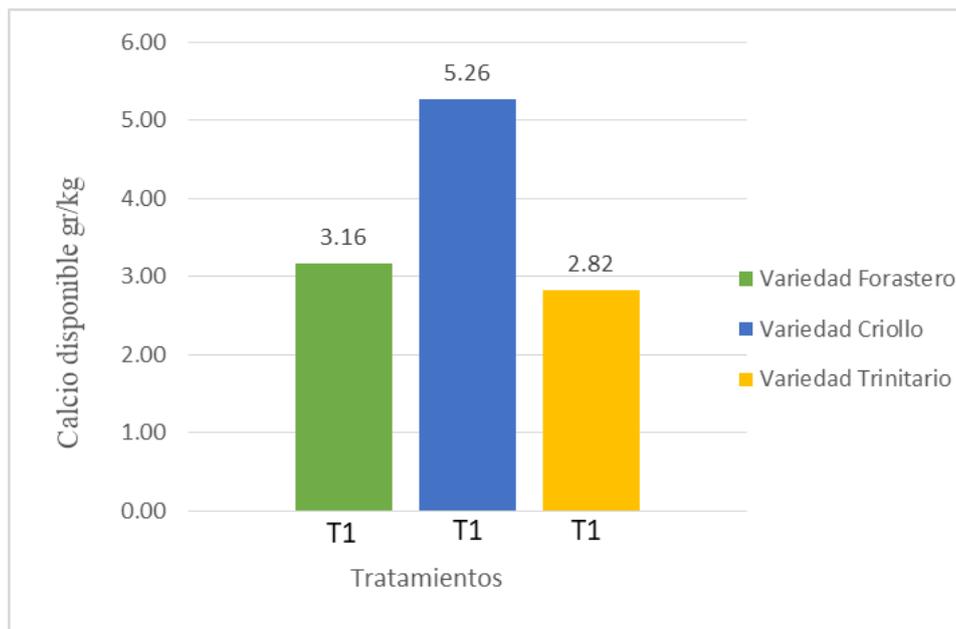


Figura 13. Promedios de contenido de calcio.

En la figura 13, muestra el contenido de calcio del biochar de la variedad Criollo (5.26 gr/kg) mayor que, el biochar de la variedad Forastero (3.16 gr/kg), seguido de la variedad trinitario que contiene (2.82 gr/kg).

Magnesio

Tabla 14. Promedios de magnesio del biochar.

Variedad	Suma	Promedio Mg (meq/100 g)
Forastero	80.40	26.80
Criollo	36.89	12.30
Trinitario	77.47	25.82

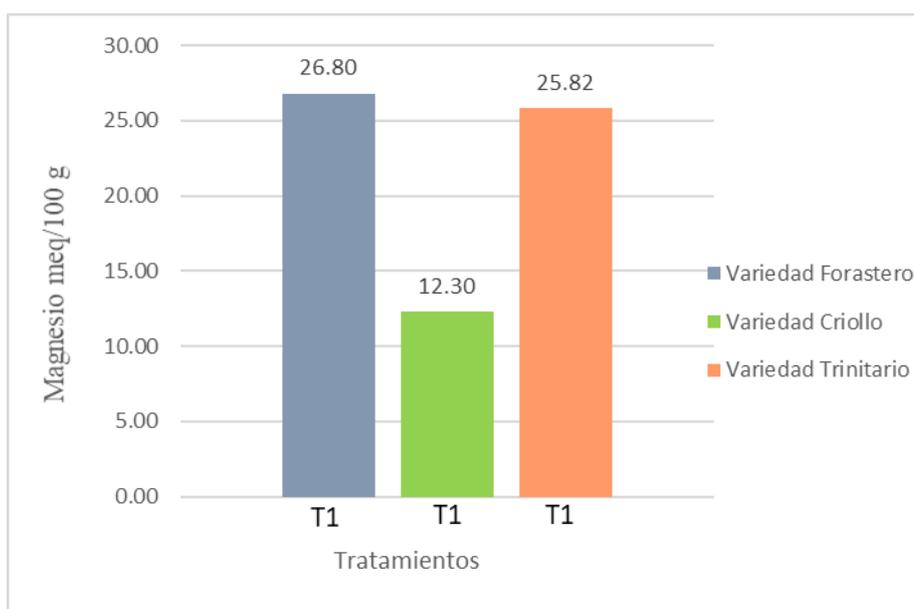


Figura 14. Promedios de contenido de magnesio.

En la figura 14, muestra la media de contenido de magnesio del biochar de la variedad Forastero mayor que de la variedad Criollo y Trinitario.

Las concentraciones de potasio, calcio y magnesio en el biochar de las variedades de *Theobroma cacao* L. aplicado a los suelos otorgan el efecto encalado con la posibilidad de influir en la fertilidad del suelo, particularmente en los suelos ácidos.

Hierro

Tabla 15. Promedios de hierro del biochar.

Variedad	Suma	Promedio Fe (ppm)
Forastero	3.90	1.30
Criollo	3.80	1.27
Trinitario	4.20	1.40

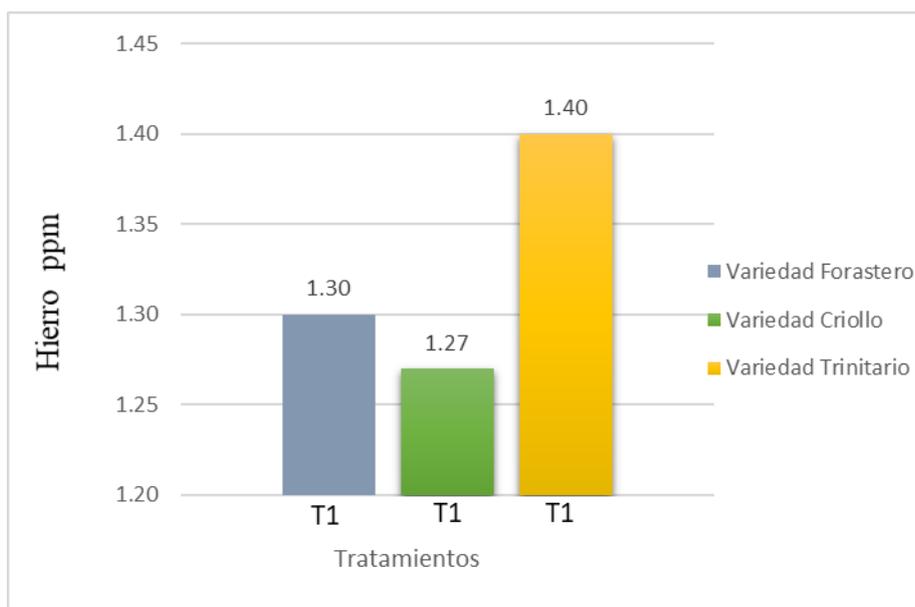


Figura 15. Promedios de contenido de hierro.

La figura 15, muestra los resultados de los promedios obtenidos del contenido de hierro, mediante análisis de datos muestran que los tratamientos no son significativos; es decir no hay una diferencia significativa en las concentraciones de hierro, entre el biochar de cáscara de cacao variedad Forastero (1.30 ppm), Criollo (1.27 ppm) y Trinitario (1.40 ppm). Por lo tanto el contenido de hierro se distribuye de la siguiente manera: Trinitario > Forastero > Criollo.

Manganeso

Tabla 16. Promedios de manganeso del biochar

Variedad	Suma	Promedio Mn (ppm)
Forastero	12.80	4.27
Criollo	9.60	3.20
Trinitario	10.30	3.43

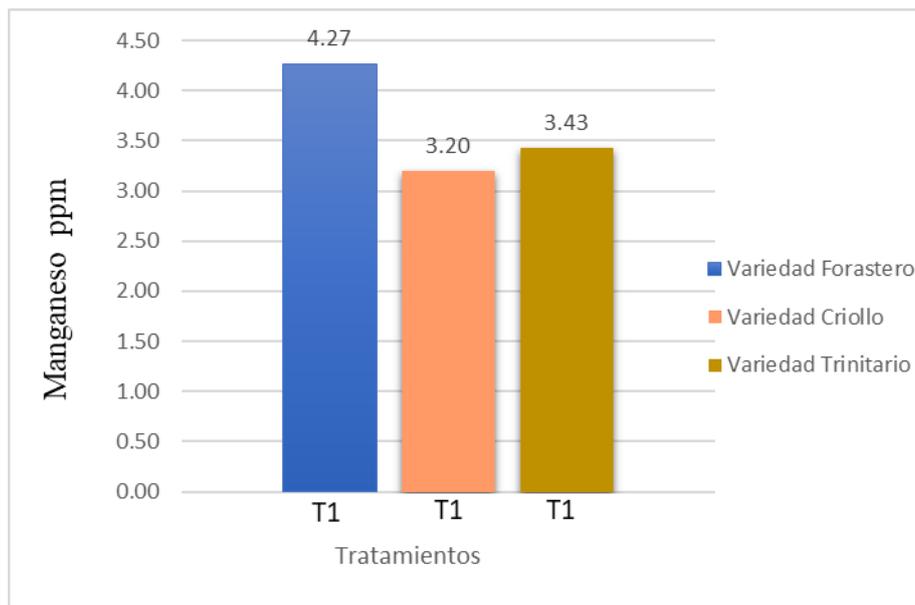


Figura 16. Promedios de contenido de manganeso.

Los resultados observados en la figura 16, realizado mediante los promedios obtenidos muestran que la concentración de manganeso del biochar de cáscara de cacao variedad Forastero resultó mayor (4.27 ppm) que la variedad Criollo (3.20 ppm) y del Trinitario (3.43 ppm).

Zinc

Tabla 17. Promedios de zinc del biochar

Variedad	Suma	Promedio Zn (ppm)
Forastero	35.10	11.70
Criollo	30.10	10.00
Trinitario	38.40	12.80

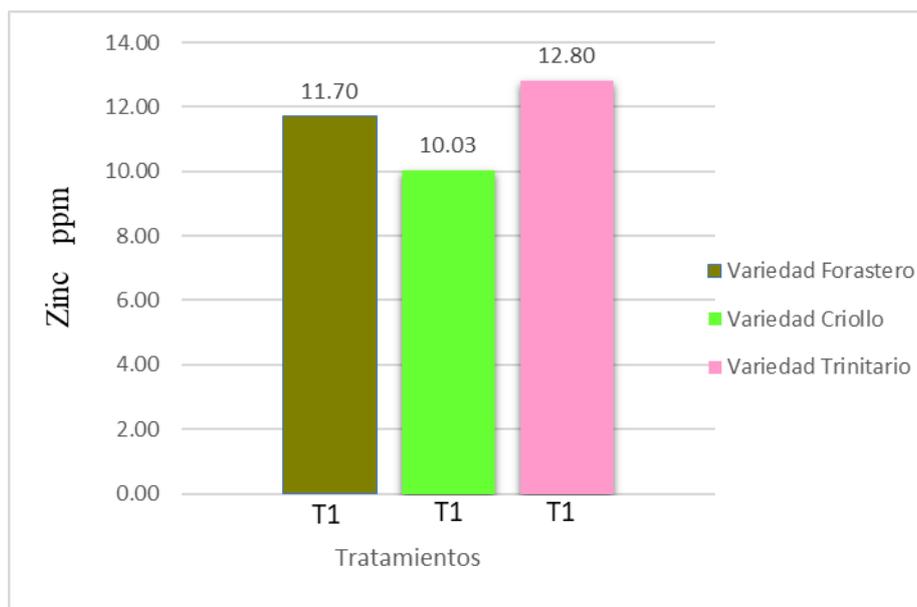


Figura 17. Promedios de contenido de zinc

Los cálculos realizados mediante los promedios del análisis de datos, muestran que las concentraciones de zinc entre los tratamientos es significativa; es decir hay una diferencia entre las medias del contenido de zinc entre el biochar de cáscara de cacao variedad Forastero, Criollo y Trinitario. Como se muestra en la figura 17, la concentración media de zinc del biochar de cáscara de cacao variedad Trinitario fue inferior de 12.80 ppm, variedad Forastero resultó de 11.70 ppm, mientras que el Criollo reportó 10.03 ppm, siendo este último el que posee menor cantidad de zinc.

Boro

Tabla 18. Promedios de boro del biochar.

Variedad	Suma	Promedio B (ppm)
Forastero	1260.00	42.00
Criollo	72.90	24.30
Trinitario	122.80	40.90

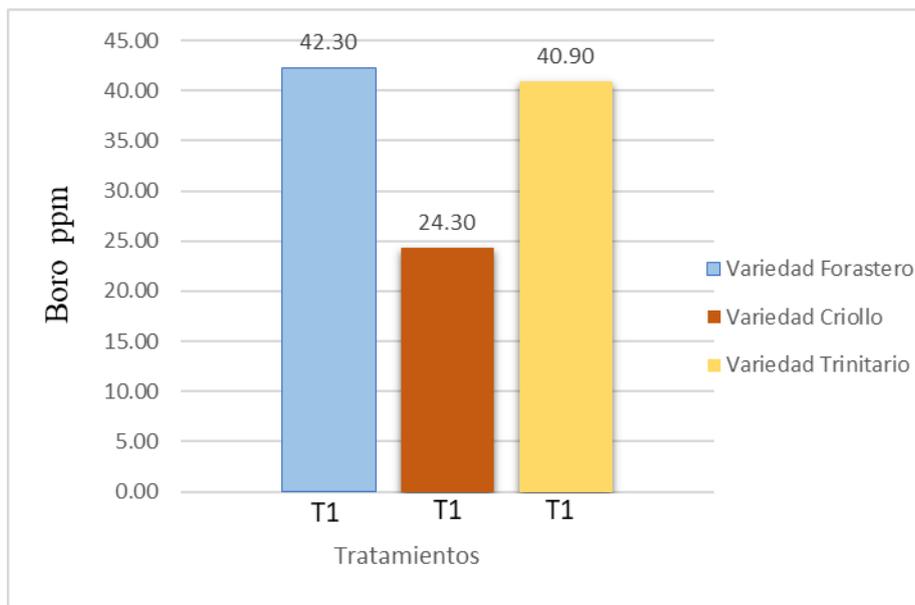


Figura 18. Promedios de contenido de boro

En la figura 18 realizado a partir de los promedios de concentración de boro calculado en ppm, muestran diferencias significativas entre los tratamientos; es decir hay una diferencia significativa entre las medias del contenido de boro entre el biochar de cáscara de cacao variedad Forastero, Criollo y Trinitario. El contenido de boro se distribuye de la siguiente manera: Forastero > Trinitario > Criollo. T1 (42.0 ppm), T2 (24.3 ppm) y T3 (40.9 ppm).

V. DISCUSIÓN

Según los datos obtenidos, los valores de pH del biochar de la cáscara de cacao variedad Forastero, Criollo y Trinitario en los diferentes tratamientos son fuertemente alcalinos, ya que están en un rango de 9.97 a 10.23. Los valores obtenidos guardan relación con los estudios realizados por (Guerra, 2015) quien obtuvo valores de pH de 9.37 hasta 10.20 en biochar de cáscara de cacao y (Trujillo, 2017) en su estudio de biochar a partir pollinaza, gallinaza y la mezcla quien observó el valor de pH de 10.01 hasta 10.89. Cabe mencionar que el pH del biochar es dependiente del tipo de materia prima utilizada, composición y de las condiciones de pirólisis.

De acuerdo a los datos obtenidos, los niveles de nitrógeno están en un rango de 0.427 % a 1.573 %, siendo el biochar de cáscara de cacao variedad Trinitario el que logra el mejor nivel de concentración, seguido del Forastero y por último el Criollo. Estos valores son coincidentes con los valores obtenidos por (Iglesias, 2018) en el estudio realizado con biomasa residual de eucalipto que establece un porcentaje de 0.31 % a 0.84 % y el estudio de caracterización de 60 tipos de biomasa en China realizado por (Sun et al., 2017) que establece rangos de 0.26 % a 4.19 %.

Con respecto al fósforo, los niveles obtenidos están en un rango de 1179.63 a 1381.53 mg/kg, siendo el biochar de cáscara de cacao variedad Forastero el que presenta mayor concentración de dicho elemento y el Criollo el posee menor concentración. En Lima el estudio de producción y caracterización de biochar (Trujillo, 2017) a partir de residuos orgánicos avícolas, obtuvo valores de 29400.35 a 34215.76 mg/kg, en el cual el biochar de gallinaza obtuvo mayor concentración de fósforo y la mezcla de gallinaza y pollinaza obtuvo menor concentración.

En el estudio realizado por Iglesias (2018), indicó que la disponibilidad del micronutriente boro, estuvo con valores de (60 ppm) para corteza de Eucalipto y (38 ppm) para ramas de Eucalipto, similares a los de nuestra investigación que resultaron (24.7 ppm) para la

variedad Forastero, (24.5 ppm) para la variedad Criollo y (23.7 ppm) para la variedad Trinitario. Así mismo pasó con el micronutriente cobre que en dicho estudio obtuvieron resultados de (19 ppm) para corteza eucalipto y (9 ppm) para ramas de Eucalipto, similares al de nuestra investigación que resultaron (1.10 ppm) para la variedad Forastero, (1.23 ppm) para la variedad Criollo y (1.07 ppm) para la variedad Trinitario. Por último para el micronutriente zinc los niveles obtenidos en nuestra investigación resultaron (11.7 ppm,) para la variedad Forastero, (10.03 ppm) para la variedad Criollo y (12.8 ppm) para la variedad Trinitario similares a dicha investigación, que obtuvo valores de (56 ppm) para corteza de Eucalipto y (45 ppm) para ramas de Eucalipto.

De acuerdo a los datos obtenidos, los niveles de potasio están en un rango de 96.08 g/kg a 93.38 g/kg siendo el biochar de cáscara de cacao variedad Criollo el que logra el mejor nivel de concentración, seguido del Forastero y por último el Trinitario. Estos valores son coincidentes con los valores obtenidos por (Guerra, 2015) en el estudio realizado con biomasa residual de sistemas agroforestales que establece un porcentaje de 68 g/kg para cáscara de cacao con un nivel de pirolisis total. Asimismo pasó con el nutriente calcio que en dicho estudio obtuvieron 6.90 g/kg, similares a la de nuestros datos obtenidos que están en un rango de 5.26 g/kg a 2.82 g/kg siendo el biochar de cáscara de cacao variedad Criollo el que logra el mejor nivel de concentración, seguido del Forastero y por último el Trinitario.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Se diseñó una cámara de combustión de doble tambor con un propósito único de análisis e investigación, este tuvo un funcionamiento que logró condiciones operacionales óptimas de pirólisis lenta, puesto que logró temperaturas de 400 °C a 550 °C, también se realizó repeticiones por cada variedad para obtener datos necesarios para su evaluación y caracterización.
- Los valores de pH obtenidos, fueron de 9.97 a 10.23, por lo tanto, se encuentran en escala fuertemente alcalinos, conductividad eléctrica con valores de 42.1 dS/m a 57.17 dS/m y por último Capacidad de Intercambio Catiónico en todas las muestras del biochar, con valores altos de 62.72 Meq/100g a 83.96 Meq/100g.
- Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre la cáscara de cacao variedad Forastero, Criollo y Trinitario en P, Na, K, Ca, Mg, Mn y Zn. El biochar de cáscara de cacao variedad Criollo resultó superior en contenido de sodio (0.40 meq/100 g), potasio (97.08 gr/kg) y calcio (5.26 gr/kg), mientras que la variedad Forastero reportó mayor concentración de boro (42 ppm), fósforo (1381.53 mg/kg), magnesio (26.80 meq/100g) y manganeso (4.27 ppm), en tanto el Trinitario resultó superior en contenido de nitrógeno (1.57 %) y zinc (12.800 ppm).

6.2. Recomendaciones

- Utilizar una tecnología más efectiva como es el caso de un reactor, que controle la temperatura, valor calorífico y tiempo de producción, con el fin de incrementar el rendimiento y evitar grandes emisiones de humo, disminuyendo así, el consumo de material combustible (leña) y reduciendo la perturbación del ambiente.
- Para la caracterización de biochar se debe establecer y usar lineamientos estandarizados, debido a que, en esta investigación y en otras de similar propósito, se plantean diferentes metodologías que se ajustan a cada una de ellas.
- Elegir materia prima apropiada, siendo esta una de las características que se debe considerar para su selección, pues los materiales no deben competir con otros usos, en particular si estos generan productos de mayor valor económico que el biochar. A esto se suma que debemos aprovechar solo una parte del total de la biomasa residual, puesto que aportan nutrientes al suelo tras cumplir su ciclo de descomposición.
- Para un completo estudio se recomienda realizar análisis a la materia prima, de contenido de lignina y humedad debido a que son factores determinantes del rendimiento y poder obtener datos que respalden la investigación.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bedussi, F. (2016). Evaluación del potencial de biochar como componente de sustrato para cultivo. Tesis de doctorado en Ecología Agraria. Universidad estudios en Milano. (pág. 142) Italia.
- Capraro, G. 2012. Biochar como medio para reducir las emisiones de CO₂ de la atmósfera. Tesis del Grado en Ingeniería para el Medio Ambiental y el Territorio. Universidad de Bologna. (pág. 356). Italia
- Cueto García, M. (2016). Potencial de producción de biochar en España a partir de residuos de la industria papelera, de lodos de E.D.A.R., de residuos sólidos urbanos sólidos urbanos y de residuos ganaderos: Tesis Doctoral en Ciencias Ambientales. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos.
- ENA. (2016). Encuesta Nacional Agropecuaria. Perú.
- Gomez, Marcelo. (2006). Introducción a la metodología de la Investigación Científica (pág. 87). Argentina: Bujas
- Graziani. (2002). Características físicas del fruto de cacao tipos Criollo, *Agronomía tropical* , 325-342.
- Guerra Laura, P. A. (2015). Producción y caracterización de biochar a partir de la biomasa residual. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, 55-56. Lima.
- Iglesias Abad, S. F. (2018). Aplicación de biochar a partir de biomasa residual de Eucalipto para evaluar la productividad con maíz en el austro ecuatoriano. Tesis para optar el grado de Doctor en Ingeniería y Ciencias Ambientales. Lima.
- INEI (2019). Anuario de Estadísticas Ambientales 2013.
- Prakash. (2012). Perfil de producción y comercialización para *Theobroma cacao L.* En *Granja y Silvicultura* (pág. 23).
- Sun, X., Shan, R., LI, X., Pan, J., Liu, X., Deng, R., & Song, J. (2017). Characterization of 60 types of Chinese biomass waste and resultant biochars in terms of their candidacy for soil application. *GCB Bioenergy*.

- Tamayo, Mario. (2009). El proceso de la investigación científica, (pág.34). México: Limusa.
- Trujillo Aranda, E. (2017). Producción y caracterización de biochar a partir de residuos orgánicos avícolas. Tesis para optar el título de Ingeniero Zootecnista, 50-51. Lima.
- Zhang. (2016). La investigación actual sobre biochar aborda las limitaciones globales del suelo para la agricultura sostenible . En Agricultura, ecosistemas y medio ambiente (págs. 25-32).

AGRADECIMIENTO

A Dios por iluminar en esta etapa de nuestra vida, a nuestra familia que gracias a su esfuerzo, amor, paciencia, apoyo incondicional y desinteresado hemos podido cumplir la meta de ser profesionales.

A la Universidad Nacional de Jaén, Facultad de Ingeniería Forestal y ambiental por permitirnos culminar nuestros estudios superiores y formarnos como profesionales.

Agradecemos de manera muy encarecida a nuestro asesor Ing. Henry William Sarmiento Castillo que con su paciencia y dedicación hizo posible la culminación de este trabajo de investigación para terminar esta etapa de nuestra vida con éxito.

DEDICATORIA

A Dios por darme la oportunidad de vivir y la fortaleza para seguir adelante y nunca desmayar ante la presencia de los problemas. A mis padres, abuelos y hermanos que gracias a ellos he logrado superarme como persona por el apoyo incondicional que me brindaron en todos los momentos de mí existir.

Sulma Karina La Serna Cubas

A Dios por su amor incondicional y ser mi complemento en esta vida, a mis Padres Luis y Mery, a mis abuelas Mercedes y Anita, por su cariño, sacrificio y enseñanzas que me ayudan a ser mejor persona cada día y cumplir todas mis metas propuestas, a mi Hermano Santiago, porque me inspira a superarme cada día y ser su ejemplo a seguir.

Stefany Alexandra Sanz Serrano

ANEXOS

Anexo 1. Informe de ensayo del biochar.



INFORME DE ENSAYO SA1902666 Rev. 0

Página 1 de 2

A solicitud de:	INNOVAGREEN INGENIEROS S.A.C.		
Por cuenta de:	INNOVAGREEN INGENIEROS S.A.C.		
Producto descrito como:	Fertilizers	Cantidad Muestras:	3
Tipo de Análisis:	ANALISIS FISICO-QUIMICO	Fecha de Recepción:	03/12/2019
Localidad de preparación:	CALLAO	Fecha de Ensayo:	Del 03/12/2019 Al 10/12/2019
Descripción del Estado y Condición de la Muestra:	En bolsas de plástico selladas con cinta adhesiva		
	Suelos		
	Peso de 750 a 1100 g humedas.		
Referencia Cliente:	OL229589 INNOVAGREEN INGENIEROS S.A.C.		
Notas:			

Esquema	Método
SCR32	Secado y tamizado de muestras < 2 Kg en variedad de mallas (Granulometría)
SA_COND2H	SGS-MN-ME-190 /Abril 2015 Rev.02 / Suelos Agrícolas: Conductividad eléctrica
SA_CSB52Y	SGS-MN-ME- 268 /Marzo 2015 Rev. 00/ DETERMINACION DE BORO SOLUBLE POR UV-VIS
SA_DALH	SGS-MN-ME-217 / Agosto 2011 Rev. 00 / Suelos Agrícolas: Determinación de Aluminio e Hidrógeno Intercambiables (Acidez Intercambiable)
SA_ICP12B	SGS-MN-ME-193 / Noviembre.2013 Rev.01 / Suelos Agrícolas: Carbonato de Calcio
SA_ICP58FC	SGS-MN-ME-263 / Diciembre 2014 Rev.00 /Suelos Agrícolas - Determinación de cationes cambiables por saturación de acetato de amonio-ICPOES.
SA_ICP58FD	SGS-MN-ME-262 / Diciembre 2014 Rev.00 /Suelos Agrícolas: Determinación de Cationes Disponibles por Saturación con Acetato de Amonio-ICPOES
SA_MOV1D	SGS-MN-ME-212/ Agosto-2014 Rev 01 / Suelos Agrícolas: Materia Orgánica por Volumetría - Método Walkley y Black
SA_PD18H	SGS-MN-ME-261/ Setiembre 2014 Rev. 00/ Suelos Agrícolas: Determinación Colorimétrica de Fósforo Disponible soluble en Bicarbonato de Sodio
SA_PH32H	SGS-MN-ME-188 / Diciembre 2014 Rev.02 / Suelos Agrícolas: pH en agua
SA_SNA2Q	SGS-MN-ME-219 / Marzo 2013 Rev. 02 / DETERMINACION DE MICROELEMENTOS DISPONIBLES: MANGANESO, COBRE, ZINC Y HIERRO EN SUELOS AGRICOLAS (MÉTODO DE OLSEN MODIFICADO)
PMI_CHGR	Peso de Muestra Recibido

Elemento Esquema Unidad Límite de DetECCIÓN	C.E. SA_COND2H dS/m 0.01	B_soluble SA_CSB52Y ppm 0.2	Al_cambiable SA_DALH me/100g 0.01	H_cambiable SA_DALH me/100g 0.01	% Acidez Intercambiabl e SA_DALH % 0.01	CaCO3 SA_ICP12B % 0.01	Saturación de Bases SA_ICP58FC % 0.01	Ca_cambiable SA_ICP58FC me/100g 0.01
COMPOST / BIOCHAR _C_ FORASTERO	42.90	43.0	<0.01	<0.01	<0.01	2.65	100.00	15.36
COMPOST / BIOCHAR _C_ CRIOLLO	49.70	24.7	<0.01	<0.01	<0.01	3.59	100.00	18.18
COMPOST / BIOCHAR _C_TRINITARIO	43.90	41.8	<0.01	<0.01	<0.01	3.09	100.00	15.00
DUP COMPOST / BIOCHAR _C_CRIOLLO	50.00	24.7	<0.01	<0.01	<0.01	3.48	100.00	18.62

INFORME DE ENSAYO
SA1902666 Rev. 0

Página 2 de 2

Elemento Esquema Unidad Límite de Detección	CIC SA_ICP58FC me/100g 0.01	K_cambiable SA_ICP58FC me/100g 0.01	% Na Intercambiabl e SA_ICP58FC % 0.01	Mg_cambiable SA_ICP58FC me/100g 0.01	Na_cambiable SA_ICP58FC me/100g 0.01	Mg_disponible SA_ICP58FD me/100g 0.01	Na_disponible SA_ICP58FD me/100g 0.01	Ca_disponible SA_ICP58FD me/100g 0.01
COMPOST / BIOCHAR _C_ FORASTERO	80.11	42.29	<0.01	22.46	<0.01	27.50	0.23	16.80
COMPOST / BIOCHAR _C_ CRIOLLO	64.35	39.18	<0.01	6.98	<0.01	13.79	0.38	26.82
COMPOST / BIOCHAR _C_TRINITARIO	84.69	45.55	<0.01	24.13	<0.01	28.48	0.20	15.11
DUP COMPOST / BIOCHAR _C_CRIOLLO	68.89	42.56	<0.01	7.71	<0.01	14.18	0.38	26.79

Elemento Esquema Unidad Límite de Detección	K_disponible SA_ICP58FD ppm 0.01	Materia Orgánica SA_MOV1D % 0.01	N_total SA_MOV1D % 0.01	P_disponible SA_PD18H mg/kg 1.0	pH (1:1 v/v) SA_PH32H 0.1	Cu SA_SNA2Q ppm 0.1	Fe SA_SNA2Q ppm 0.1	Mn SA_SNA2Q ppm 0.1
COMPOST / BIOCHAR _C_ FORASTERO	94368.14	29.60	1.48	1401.8	10.4	1.2	1.4	4.6
COMPOST / BIOCHAR _C_ CRIOLLO	97852.25	9.15	0.46	1180.2	10.5	1.4	1.4	3.3
COMPOST / BIOCHAR _C_TRINITARIO	92353.94	32.62	1.63	1339.3	10.3	1.2	1.5	3.9
DUP COMPOST / BIOCHAR _C_CRIOLLO	99358.36	9.12	0.46	1162.5	10.5	1.5	1.6	3.5

Elemento Esquema Unidad Límite de Detección	Zn SA_SNA2Q ppm 0.1	Peso Muestra PMI_CHGR g
COMPOST / BIOCHAR _C_ FORASTERO	12.5	900.0
COMPOST / BIOCHAR _C_ CRIOLLO	10.1	750.0
COMPOST / BIOCHAR _C_TRINITARIO	13.3	1100
DUP COMPOST / BIOCHAR _C_CRIOLLO	10.5	-

Emitido en Callao-Perú el , 10/12/2019



Edgar Zárate Aguilar
Supervisor de Laboratorio
C.I.P. 22151

Anexo 2. Catálogo de variedades de *Theobroma cacao* L.

Variedad criollo



Variedad Forastero



Variedad Trinitario



Anexo 3. Panel fotográfico



Figura 19. Materias primas seleccionadas para la producción de biochar.

- a) Cáscara de cacao variedad Criollo
- b) Cáscara de cacao variedad Forastero
- c) Cáscara de cacao variedad Trinitario.



Figura 20. Peso de la materia prima.



Figura 21. Disposición de la materia prima.



Figura 22. Cámara de combustión para la producción de biochar.



Figura 23. Procesos para la producción de biochar.



Figura 24. Monitoreo de la temperatura.



Figura 25. Inicio del proceso de pirólisis.



Figura 26. Muestras representativas de biochar de cáscara de cacao.



Figura 27. Molienda y tamizado del biochar.

Anexo 4. Resumen del análisis de varianza

- Conductividad eléctrica

	T1	T2	T3
R1	42.9	49.7	43.9
R2	41.9	47.5	42.9
R3	41.5	74.3	41.5

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	3	126.3	42.10	0.52
Columna 2	3	171.5	57.16	221.37
Columna 3	3	128.3	42.76	1.45

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>			<i>Valor crítico para F</i>
			<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>		
tratamientos	434.8088889	2	217.404444	2.92018	0.13012	5.143
error	446.6933333	6	74.4488888			
Total	881.5022222	8				

- pH

	T1	T2	T3
R1	10.4	10.5	10.3
R2	10.0	10.2	9.9
R3	9.9	10.0	9.7

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	3	30.3	10.10	0.07
Columna 2	3	30.7	10.23	0.063333333
Columna 3	3	29.9	9.97	0.093333333

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>			<i>Valor crítico para F</i>
			<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>		
Tratamientos	0.10666667	2	0.0533333	0.705882	0.5305	5.143
Error	0.45333333	6	0.0755556			
Total	0.56	8				

- **Nitrógeno**

	T1	T2	T3
R1	1.48	0.46	1.63
R2	1.38	0.41	1.58
R3	1.28	0.41	1.51

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	3	4.14	1.38	0.01
Columna 2	3	1.28	0.43	0.0008333
Columna 3	3	4.72	1.57	0.0036333

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Tratamientos	2.26106667	2	1.1305333	234.442396	2.01692E-06	5.143
Error	0.02893333	6	0.0048222			
Total	2.29	8				

- **Fósforo**

	T1	T2	T3
R1	1401.8	1180.2	1339.3
R2	1403.5	1175.4	1350.4
R3	1339.3	1183.3	1346.5

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	3	4144.6	1381.533	1338.463
Columna 2	3	3538.9	1179.633	15.84333
Columna 3	3	4036.2	1345.4	31.71

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Tratamientos	69547.816	2	34773.908	75.267	0.00006	5.143
Error	2772.033	6	462.006			
Total	72319.849	8				

- **Sodio**

	T1	T2	T3
R1	0.23	0.38	0.20
R2	0.22	0.30	0.18
R3	0.20	0.52	0.16

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	3	0.65	0.2166	0.000233
Columna 2	3	1.2	0.40	0.0124
Columna 3	3	0.54	0.18	0.0004

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Tratamientos	0.083355556	2	0.04167778	9.59335	0.013518	5.143
Error	0.026066667	6	0.00434444			
Total	0.109422222	8				

- **Potasio**

	T1	T2	T3
R1	94.37	97.85	92.35
R2	93.78	97.02	94.37
R3	93.62	96.37	93.43

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	3	281.77	93.92	0.16
Columna 2	3	291.24	97.08	0.55
Columna 3	3	280.15	93.38	1.02

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	23.92	2	11.96	20.76	0.00	5.14
Dentro de los grupos	3.46	6	0.58			
Total	27.38	8				

- Cobre

	T1	T2	T3
R1	1.2	1.4	1.20
R2	1.1	1.2	1.00
R3	1.0	1.1	1.00

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	3	3.3	1.100	0.01
Columna 2	3	3.7	1.233	0.02
Columna 3	3	3.2	1.067	0.01

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Tratamientos	0.047	2	0.023	1.5	0.2962	5.143
Error	0.093	6	0.016			
Total	0.14	8				

- Calcio

	T1	T2	T3
R1	3.36	5.37	3.02
R2	3.17	5.36	2.9
R3	2.96	5.06	2.53

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	3	9.49	3.16	0.04
Columna 2	3	15.79	5.26	0.03
Columna 3	3	8.45	2.82	0.07

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Tratamientos	10.52	2	5.26	115.73	0.00	5.14
Error	0.27	6	0.05			
Total	10.79	8				

- **Magnesio**

	T1	T2	T3
R1	27.50	13.79	28.48
R2	27.40	12.50	25.50
R3	25.50	10.60	23.49

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	3	80.4	26.8	1.27
Columna 2	3	36.89	12.2966667	2.5750333
Columna 3	3	77.47	25.8233333	6.3034333

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Tratamientos	394.27127	2	197.135633	58.275493	0.00011	5.143
Error	20.296933	6	3.38282222			
Total	414.5682	8				

- **Hierro**

	T1	T2	T3
R1	1.4	1.4	1.5
R2	1.3	1.2	1.4
R3	1.2	1.2	1.3

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	3	3.9	1.3	0.01
Columna 2	3	3.8	1.27	0.013333
Columna 3	3	4.2	1.4	0.01

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.029	2	0.014	1.3	0.340	5.143
Dentro de los grupos	0.067	6	0.011			
Total	0.096	8				

- **Manganeso**

	T1	T2	T3
R1	4.6	3.3	3.9
R2	4.2	3.2	3.4
R3	4.0	3.1	3.0

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	3	12.8	4.267	0.09
Columna 2	3	9.6	3.200	0.01
Columna 3	3	10.3	3.433	0.20

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Tratamiento	1.887	2	0.943	9.228261	0.01476	5.143
Error	0.613	6	0.102			
Total	2.5	8				

- **Zinc**

	T1	T2	T3
R1	12.5	10.1	13.3
R2	12.1	9.9	12.8
R3	10.5	10.1	12.3

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	3	35.1	11.7	1.12
Columna 2	3	30.1	10.033	0.013333
Columna 3	3	38.4	12.8	0.25

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Tratamientos	11.642	2	5.821	12.6241	0.007079116	5.143
Error	2.767	6	0.461			
Total	14.409	8				

- **Boro**

	T1	T2	T3
R1	43	24.7	41.8
R2	42	24.5	40.6
R3	41	23.7	40.4

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	3	126	42	1
Columna 2	3	72.9	24.3	0.28
Columna 3	3	122.8	40.93333333	0.57333333

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados</i>		<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor</i>
		<i>de libertad</i>	<i>de</i>				<i>crítico para F</i>
Tratamientos	591.0956	2		295.54	478.40	2.42	5.14
error	3.706667	6		0.617			
Total	594.8022	8					

- **CIC**

	T1	T2	T3
R1	80.11	64.35	84.69
R2	75.10	62.45	83.69
R3	70.00	61.35	83.50

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	3	225.21	75.07	25.553
Columna 2	3	188.15	62.7166667	2.3033
Columna 3	3	251.88	83.96	0.408

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados</i>		<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor</i>
		<i>de libertad</i>	<i>de</i>				<i>crítico para F</i>
Tratamientos	682.9161556	2		341.458	36.24	0.00044	5.143
Error	56.53146667	6		9.4219			
Total	739.4476222	8					