



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROFORESTAL

“EFECTO DEL FERTILIZANTE ORGÁNICO NO CONVENCIONAL
DE HARINA DE CUERNOS Y PEZUÑA DE GANADO BOVINO EN
EL RENDIMIENTO DEL *Theobroma cacao* L.”

Tesis para optar el título profesional de:
INGENIERO AGROFORESTAL

Presentado por:

Rodrigo Sebastian Zumaeta Barbarán (0000-0002-4216-9993)

Asesor:

Ph.D. Julio Alegre Orihuela (0000-0002-7282-045X)

Coasesor:

Ing. MSc. Cesar O. Arévalo Hernández (0000-0002-1390-3503)

Lima – Perú
2020

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 21 de enero 2020.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Dr. HÉCTOR ALONSO APONTE UBILLÚS
Miembro: Mg. LUIS PAUL QUIRÓS ROSSI
Miembro: Mg. SANTIAGO HILARIO PASTOR SOPLÍN

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

“EFECTO DEL FERTILIZANTE ORGÁNICO NO CONVENCIONAL DE HARINA DE CUERNOS Y PEZUÑA DE GANADO BOVINO EN EL RENDIMIENTO DEL *Theobroma cacao* L.”

Presentada por la/el estudiante/bachiller:

- **Rodrigo Sebastian Zumaeta Barbarán**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroforestal

Asesorado por: **DR. JULIO CESAR ALEGRE ORIHUELA**

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño de el/la estudiante de la carrera de Ingeniería Agroforestal en la sustentación, concluyen de manera unánime () por mayoría simple (X) calificar a:

Tesista: RODRIGO SEBASTIAN ZUMAETA BARBARÁN	Nota (en letras): 13 (trece)
Aprobado (X) Aprobado - Muy buena () Aprobado - Sobresaliente () Desaprobado ()	

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



Dr. HÉCTOR ALONSO APONTE UBILLÚS
Presidente



DR. JULIO CESAR ALEGRE ORIHUELA
Asesor



Mg. LUIS PAUL QUIRÓS ROSSI
Miembro 1



MG. SANTIAGO HILARIÓN PASTOR SOPLÍN
Miembro 2

Agradecimientos

Al Sr. Alberto Documet por haberme transmitido sus conocimientos sobre la elaboración de la HCP, A los profesores Julio Alegre Orihuela y Guillermo Aguirre Yato (QEPD) por su tiempo y por haberme facilitado un espacio del área de fertilidad de suelos de la Universidad Agraria la Molina; al Sr. Mario Jimenez por su ayuda en la elaboración de este abono, a la familia Arévalo por su buen gesto en recibirme en las instalaciones del Instituto de Cultivos Tropicales, al Sr. Manrique por haberme ayudado en el mantenimiento de la parcela y a todos los colegas que me ayudaron.

A mi Padre y Madre, por ser el ejemplo a seguir y por siempre demostrarme su apoyo en todo momento, a mis sobrinos Salvador y Sofía por ser la fuente de inspiración y finalmente a mis amigos de toda la vida por los buenos momentos.

ÍNDICE

Resumen	2
1. Introducción	2
2. Problemática	4
3. Justificación	5
4. Antecedentes y Marco Teórico	6
4.1 Antecedentes	6
4.2 Nutrición mineral	9
4.2.1 Nutrientes esenciales	9
4.2.2 Nitrógeno	9
4.3 Abono orgánico	10
4.3.1 Harina de cuerno y pezuña de ganado bovino	11
4.3.1.1 Definiciones	11
4.3.1.2 Características químicas	12
4.4 <i>Theobroma cacao</i> L.	14
4.4.1 Taxonomía	14
4.4.2 Centro de origen	14
4.4.3 Descripción	14
4.4.4 Variedades y distribución	16
4.5. Rendimiento	16
4.5.1 Factores externos influyentes en el rendimiento	16
4.5.1.1 Precipitación	16
4.5.1.2 Temperatura	17
4.5.1.3 Viento	17
4.5.1.4 Luminosidad	17
5. Objetivos e Hipótesis	18
5.1 Objetivo general	18
5.1.1 Objetivo específicos	18
5.2 Hipótesis nula y alterna	18
6. Materiales y Métodos	18
6.1 Etapa I	18
6.1.1 Lugar de ejecución	18
6.1.2 Materia prima	19
6.1.2.1 Harina de cuerno y pezuña de ganado bovino (HCP)	20
6.2 Etapa II	21
6.2.1 Lugar de ejecución	21
6.3 Equipos y materiales	23
6.4. Métodos y procedimiento	24
6.4.1 Instalación del experimento y parámetros de evaluación	24
6.4.2 Diseño experimental	25
6.5 Indicadores biométricos	27
6.6 Análisis estadístico	32
7. Resultados	32
8. Discusión	45
8.1 Análisis químico de la HCP	45

8.2 Indicadores biométricos	45
8.2.1 Área de hojas	46
8.2.2 Contenido de clorofila	49
8.2.3 Peso seco de raíces laterales	50
9. Conclusiones y Recomendaciones	52
Referencia Bibliográfica	54
Anexo I – Fotografías de la elaboración de HCP	61
Anexo II – Instalación de la parcela experimental	63
Anexo III – Mapa de zona de vida del departamento de San Martín	68
Anexo IV – Análisis de costos	69

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parte de características químicas de la HCP	13
Tabla 2. Comparación de distintos parámetros químicos de abonos orgánicos con la HCP	13
Tabla 3. Descripción de las dosis de nitrógeno, fósforo y potasio aplicados en la parcela experimental de “Juan Bernito” Tarapoto.	26
Tabla 4. Análisis químico de la HCP empleada	33
Tabla 5. Análisis inicial del suelo, caracterización física y química de la parcela experimental perteneciente a la estación “Juan Bernito” Tarapoto.	34
Tabla 6. Comparación de costos por 1 kg de nitrógeno de distintos abonos orgánicos y sintéticos en el mercado peruano sin costos de logística.	69
Tabla 7. Comparación del porcentaje potencial de volatilización de distintos fertilizantes nitrogenados y la pérdida en volumen por hectárea de nitrógeno y económico que conlleva	70
Tabla 8. Comparación de costos de logística para un volumen de 1 tonelada compuesta de sacos de 50 kg de cada fertilizante indicado	72

Agradecimientos

Al Sr. Alberto Documet por haberme transmitido sus conocimientos sobre la elaboración de la HCP, A los profesores Julio Alegre Orihuela y Guillermo Aguirre Yato (QEPD) por su tiempo y por haberme facilitado un espacio del área de fertilidad de suelos de la Universidad Agraria la Molina; al Sr. Mario Jimenez por su ayuda en la elaboración de este abono, a la familia Arévalo por su buen gesto en recibirme en las instalaciones del Instituto de Cultivos Tropicales, al Sr. Manrique por haberme ayudado en el mantenimiento de la parcela y a todos los colegas que me ayudaron.

A mi Padre y Madre, por ser el ejemplo a seguir y por siempre demostrarme su apoyo en todo momento, a mis sobrinos Salvador y Sofía por ser la fuente de inspiración y finalmente a mis amigos de toda la vida por los buenos momentos.

Efecto del fertilizante orgánico no convencional de harina de cuerno y pezuña de ganado bovino en el rendimiento del *Theobroma cacao* L.

Resumen

El cacao (*Theobroma cacao* L.), debido a su potencial industrial y a los beneficios que genera su consumo en la salud del ser humano es apreciado en los mercados a nivel mundial. Producto de esto, los principales países cacaoteros destinan grandes extensiones de área para el desarrollo y aprovechamiento de esta planta, generando grandes volúmenes de producción. En ese sentido, el objetivo principal de esta investigación fue determinar el lento efecto fertilizante de la harina de cuerno y pezuña de ganado (HCP) en el rendimiento del cacao con la finalidad de validar y respaldar modelos de desarrollo orgánicos. Para este caso, se delimitó una parcela experimental en la estación de “Juan Bernito” perteneciente al Instituto de Cultivos Tropicales de Tarapoto, San Martín. Paralelamente, se realizó un análisis de las características químicas y físicas del suelo, el cual sirvió como base para establecer las dosis de fertilización de los cuatro tratamientos con HCP: 332.5 g planta⁻¹ (T1), 249.9 g planta⁻¹ (T2), 166.6 g planta⁻¹ (T3) y 83.3 g planta⁻¹ (T4), así mismo, se estableció un testigo sin nitrógeno (T0) y un tratamiento fertilizado completo (T5), el cual contemplo 72.5 g planta⁻¹ de urea. Estos tratamientos contaron con cuatro repeticiones agrupadas en un bloque completo al azar. Se concluye que la HCP tiene un efecto significativo y similar al del fertilizante inorgánico de urea en el crecimiento del área de las hojas y en el contenido de clorofila; sin embargo, el mayor desarrollo de raíces laterales del cacao se dio con la HCP. Por otro lado, desde una perspectiva económica, la HCP representa la opción más barata de por kg de N, dentro del rubro de abonos orgánicos; sin embargo, para el rubro de abonos sintéticos, la urea sigue siendo la opción más barata, tanto por kg de N como para el factor de costo logístico (1:3), a pesar de esto es necesario considerar el porcentaje potencial de volatilización del nitrógeno total de la urea (0% a 65%) y la HCP (0% a 5%), ya que esto conlleva pérdidas económicas.

Palabras clave: Cuerno, pezuña, fertilizante orgánico no convencional, cacao

1. Introducción

Hay un debate constante sobre si el modelo de la agricultura orgánica podría alimentar a la población mundial reemplazando al modelo convencional. En ese sentido, numerosas investigaciones se han realizado con la finalidad de comparar el rendimiento de plantas bajo estos sistemas de producción (Ponti et al., 2012). Frecuentemente, se comparan el efecto de los abonos orgánicos y los de síntesis en el crecimiento y desarrollo de estos. Para el caso del cacao, el aumento de esta variable no solo está condicionada por el plan de manejo y la zona de vida (Arévalo et al., 2015; Rojas, E., & Ramirez, R. 2017). Además, es importante considerar las características genotípicas del clon (Ardisana et al., 2018; Daymond et al., 2011; Hartemink, A., 2005; Sanchez et al., 2005; Zuidema et al., 2005).

El uso y consumo de cacao data de aproximadamente 3.900 años calibrados antes del presente, esto por parte de las antiguas civilizaciones precolombinas de Mesoamérica y América del Sur, siendo el punto de origen y domesticación la zona noroeste de los bosques húmedos del alto amazonas. Las evidencias indican que, no solo era consumido por sus propiedades curativas, si no, además, utilizado como símbolo cultural empleado en diversas ceremonias y ritos religiosos (Zarrillo et al., 2018). En la actualidad, gracias al desarrollo de la tecnología y su aprovechamiento en la ciencia, se confirmó la propiedad funcional del cacao, cuyo consumo genera beneficios en la salud del ser humano debido a los metabolitos que contiene (Gómez et al., 2011; Franco et al., 2013; Higginbotham & Taub, 2015).

Debido a los i) beneficios en la salud, ii) sus diferentes propiedades organolépticas y iii) el potencial industrial, es apreciado a nivel mundial, en especial por los productores de chocolate europeos y estadounidenses (Romero, 2016). Esta demanda ha originado que esta planta se desarrolle en los continentes de América, Asia y África (Barrientos, 2014); siendo este último, el continente cuya producción mundial representó el 70% en el 2016 (Pagaza, 2019). Según el Ministerio de Agricultura y Riego de Perú (2018), el cacao está ubicado en el 6° lugar de cultivos más importantes a nivel nacional. Esto se basa en i) la cantidad de productores que manejan esta planta y ii) el porcentaje de superficie cosechada.

Crisólogo et al., (2015) sostienen que, la calidad y rendimiento de las plantas están sujetos a factores internos y externos. En este último caso, el nitrógeno es uno de los factores condicionantes, ya que cumple un rol fundamental en el crecimiento y desarrollo de los cultivos, siendo el elemento más absorbido por

estos (Taiz & Zeiger, 2006). Por ejemplo, en la investigación de Rojas y Ramirez (2017) se demostró el efecto determinante del nitrógeno en el desarrollo del cacao, puesto que, fue el mayor nutriente extraído (26 kg) por el cultivo por tonelada de grano seco. En adición, el contenido de este elemento en las hojas vario entre 1.4 a 2.2%, siendo uno de los valores más altos. En esa misma línea, se observaron resultados similares en distintos clones de países como Malasia, Venezuela, Costa Rica, Brazil y Nigeria (Hartemink, 2005).

Por otro lado, una tonelada de cacao cosechada implica una pérdida de 45 Kg N ha⁻¹ del suelo (Arthur et al., 2017; van Vliet & Giller, 2017). De esto se puede inferir que, si la planta no es suplida con las cantidades mínimas de dicho elemento, el rendimiento se vería afectado. En tal caso, la harina de cuernos y pezuñas de ganado bovino (HCP) representa una fuente potencial de fertilizante no orgánico convencional, debido principalmente a su composición nitrogenada, la cual varía entre 13.58 % (Aguirre & Alegre, 2015), 15% (Documet, 2015) y 16% (Cayuela et al, 2010).

El uso de este residuo orgánico en la agricultura fue documentado a mediados del siglo xx. Ejemplo de esto, es la investigación realizada por Owen, Rogers y Winsor (1950), en donde se menciona como una práctica habitual, el uso de HCP como enmienda agrícola de lenta liberación, la cual es aplicada antes de la siembra. Sin embargo, para el óptimo aprovechamiento del nitrógeno en el sistema suelo - planta, es necesario desnaturalizar y degradar la queratina presente en estos residuos orgánicos (Noval & Nickerson, 1958; Kida et al, 1995; Sharma & Gupta, 2016).

2. Problemática

A nivel mundial existe una tendencia por el consumo de alimentos funcionales de calidad, tanto en mercados tradicionales (Europa y Estados Unidos) como emergentes (Asia), originando una demanda constante de cacao y sus derivados. Por ejemplo, los principales países destino como Países Bajos, Alemania, Estados Unidos y Malasia, importaron 1.157.467, 469.619, 415.273 y

345.489 toneladas de cacao, durante el 2018, respectivamente (Trade Map, 2018). Del mercado de estos países, Perú tuvo una participación valorada económicamente del 22%, 2%, 6.2% y 11.2% correspondientemente (Trade Map, 2018).

Esta participación deriva de las 134. 676 toneladas de cacao producto de la cosecha en 160.419 ha (FAOSTAT, 2018). En tal caso, para dicho periodo de tiempo, el promedio de rendimiento fue de 839.5 kg/ha (FAOSTAT, 2018). Este valor está por debajo del potencial de esta planta, el cual sobrepasa los 4.000 kg/ha (van Vliet & Giller, 2017). Bajo esa misma línea, según el Ministerio de Agricultura y Riego (2018), se observan diferencias entre los rendimientos de distintas regiones pertenecientes al Perú. Por ejemplo, Piura y Cusco presentan rendimientos de 456 y 412 kg/ha, correspondientemente, cifras menores que las de Junin y La Libertad, las cuales presentan valores de 1.192 y 1.161 kg/ha. En adición, la percepción de los cacaoteros peruanos respecto a esta problemática se basa en una disminución en la capacidad de producir del suelo (Ministerio de Agricultura y Riego, 2018). En este caso, el 61.7% de los productores evaluados señalan que la sobreexplotación del recurso suelo es el principal problema (Encuesta Nacional Agropecuaria, 2016).

Esto destaca la necesidad de diseñar e implementar mecanismos de desarrollo sostenible que permitan potenciar la capacidad de producción de las parcelas de cacao y de esta forma mejorar nuestra competitividad en el mercado. En tal caso, el modelo de desarrollo orgánico podría ser parte de estos mecanismos de desarrollo sostenible. En ese sentido, las normas nacionales e internacionales, referentes a este modelo, permiten el uso de la harina de cuernos y pezuña de ganado bovino (HCP) como abono orgánico.

3. Justificación

La presente investigación se enfoca en la evaluación del lento efecto fertilizante de la harina de cuernos y pezuña de ganado bovino (HCP) como abono orgánico no convencional en el rendimiento del *Theobroma cacao*. Este efecto se fundamenta en la lenta liberación del amonio (NH_4^+) comprendido en este abono orgánico no convencional (Tabla 4). Este comportamiento, en el sistema suelo-planta, se debe al azufre contenido en los aminoácidos presentes en la HCP el cual es responsable del entrecruzamiento de los enlaces de proteínas, teniendo

como consecuencia una reducción en su solubilidad y degradabilidad en agua (Cayuela et al, 2010; Aguirre & Alegre, 2015; Documet, 2015).

No obstante, este efecto podría ser positivo en el crecimiento y desarrollo del cacao, debido a su condición de planta de hojas perenne. En tal caso, el alto contenido de nitrógeno (15%) (Tabla 4) permanecería más tiempo en este sistema, por lo que la planta podría extraer dicho elemento en el momento oportuno. Como consecuencia la planta contaría con la estructura vegetal necesaria para aprovechar eficientemente la energía lumínica, generando resultados óptimos de rendimiento (Taiz & Zeiger, 2006). De esta forma se estaría respaldando la viabilidad de insumos empleados en modelos de agricultura orgánica. En adición, la aplicación de la harina de cuernos y pezuña de ganado bovino en las unidades productivas de los cacaoteros, significaría dar un paso más dentro de la transición de un modelo de desarrollo convencional hacia un modelo orgánico y paralelamente dar un valor agregado a estos residuos.

4. Antecedentes y marco teórico

4.1 Antecedentes

Las investigaciones realizadas por Aguirre y Alegre, (2015) y Documet, (2015) evaluaron y compararon el efecto de la HCP con otros fertilizantes orgánicos e inorgánicos en el cultivo de maíz a través de un diseño de bloques completamente al azar. Para acelerar el proceso de asimilación del nitrógeno de la HCP por parte de la planta, fue necesario hidrolizar la queratina presente en este residuo orgánico. En tal caso, estos se sometieron a tratamientos físicos con vapor de agua con la finalidad de degradar y desnaturalizar los enlaces disulfuro de la queratina (Noval & Nickerson, 1958, Documet, 2015). Sin embargo, esta reacción química se podría dar por parte de bacterias pertenecientes al género *Bacillus*, las cuales son capaces de producir enzimas

queratinolíticas (Sharma & Gupta, 2016), así como también por parte de *Streptomyces fradiae*, las cuales tienen la capacidad de descomponer la queratina nativa (Noval & Nickerson, 1958). Bajo esa línea, (Documet, 2015) sometió este residuo orgánico a tres procesos distintos i) cocción simple, ii) con detergente y iii) solución enzimática, obteniendo los mayores índices en las variables establecidas (altura, peso, extracción de fósforo, potasio y nitrógeno) en aquellas plantas fertilizadas con HCP obtenido a través de cocción simple. Sin embargo, no se evidenciaron diferencias significativas entre los tres tratamientos de HCP para dichas variables a excepción de extracción de nitrógeno entre el tratamiento de cocción simple y el de utilización de detergente. Finalmente, estos autores concluyeron que la HCP representa una fuente potencial de nitrógeno, a este insumo presenta 15% de dicho elemento, sin embargo, carece de cantidades significativas de fósforo y potasio, por lo que (Documet, 2015) sugiere que estas carencias deben ser suplidas con fertilizantes fosfatados y potásicos.

En el estudio realizado por Orozco y Thienhaus, (1997) se evaluó el efecto de la gallinaza en plantaciones de cacao en etapa productiva. Esta investigación se comprobó mediante un diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA), compuestos de cinco tratamientos con tres repeticiones. Los tratamientos consistieron en tres niveles de gallinaza: 454 g, 908 g, 1.362 g por frutal por aplicación, un testigo de fertilización mineral: 100 g de fertilizante químico (15-15-15) más 100 g de urea en la última fertilización y un testigo absoluto. Se concluyó que, respecto al número de frutos prendidos se encontraron diferencias significativas entre el tratamiento con 1.362 g de gallinaza en comparación al resto, mientras que los niveles 454 g, 908 g de gallinaza y fertilización química resultaron superiores con respecto al testigo absoluto.

El trabajo desarrollado por Uribe, Méndez, y Mantilla, (1998) evaluó el efecto de distintos niveles de nitrógeno, fósforo y potasio en la producción de cacao sin sombra durante cinco años, a través de un diseño experimental de bloques al azar de 10 tratamientos con cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron: Testigo (200 g dolomita/planta + 2 kg/planta de gallinaza); 50-90-50, 100-90-50, 150-90-50, 50-90-100, 100-90-100, 150-90-100, 50-90-200, 100-90-200 y 150-90-200 de urea, superfosfato triple y cloruro de potasio. Estas dosificaciones se fraccionaron en dos, las cuales se aplicaron al inicio de las temporadas con precipitaciones intensas. Se concluyó que, gracias a la exposición solar, el tratamiento 150-90-200 kg/ha de N, P₂O₅ y K₂O, evidenció un promedio de rendimiento de 1160 kg/ha, posicionándolo como el más alto; en adición, la diferencia con el testigo fue de 563 kg/ha.

La investigación desarrollada por Puentes, Menjivar, Gomez, y Aranzazu, (2014) evaluó factores fisiológicos como la capacidad de absorción y distribución de los nutrientes N, P y K en hojas y “mazorca” y cómo estas variables influyen en el rendimiento de distintos cultivares de cacao. Esto se comprobó a través de un arreglo experimental de bloques completos al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Se concluyó que la “mazorca” fue el órgano con mayor contenido de potasio y tanto la almendra y hojas presentaron la mayor concentración de nitrógeno y fósforo. Así mismo, el volumen más alto de grano y la mayor extracción de NPK por 1.000 kg de peso seco se presentó en el T2 (50% más de los valores de NPK arrojados en el análisis de suelo).

En contraste, el experimento realizado por Rojas y Ramirez (2107) evidencio que el orden y el % de extracción de nutrientes por parte del cacao varía según la edad, el clon y las condiciones edafoclimáticas del sitio. En ese sentido, una de las conclusiones fue que el grano extrae en mayor cantidad K. Bajo la misma línea, el trabajo realizado por Sanchez, Parra, Gamboa, y Rincón, (2005) evaluó el rendimiento de una plantación comercial de cacao híbrido ante diferentes dosis de NPK, las cuales fueron establecidas en base al análisis del suelo, el cual indico 46 g/planta de urea, 35 g/planta de superfosfato triple y 40 g/planta de sulfato de potasio. Los tratamientos consistieron en 100% de la dosis de laboratorio (DL), 50% DL, 200, DL y 400% DL y el control, el cual no fue fertilizado. La metodología se basó en un diseño de bloques al azar con seis repeticiones por tratamiento. Se concluyó que con los materiales y las condiciones en que se realizó la investigación, no se detectó efecto del fertilizante sobre las plantas de cacao, excepto en una de cuatro ocasiones debido probablemente a la alta variabilidad de las plantaciones del país, así como la presencia de un alto nivel freático estacional. A diferencia, Puentes, Menjivar y Aranzazu (2014) indicaron en su investigación que la mayor eficiencia agronómica de nitrógeno y el mayor rendimiento de un determinado clon se produjeron con las menores dosis de fertilización.

En el trabajo de investigación desarrollado por Daymond, Tricker y Hadley (2011) se estableció una correlación entre la variación de fotosíntesis, la conductancia estomática y el contenido de nitrógeno en las hojas. En ese sentido, las hojas más pequeñas y delgadas fueron las que presentaron mayor tasa de fotosíntesis, debido a esto, presentaron mayor contenido de nitrógeno por unidad de masa. Por otro lado, el estudio realizado por Ardisana, Torres, Téllez, Fosado, Álava, Sancán y Aguilar (2018); en el que evaluaron la variación del contenido de clorofila de unos determinados clones de cacao en tres fechas, concluyó que, se encontraron diferencias significativas entre los clones en cada uno de los muestreos, sin embargo, no sucedió lo mismo en el análisis de la evolución del contenido de clorofila a lo largo del tiempo. En adición, la investigación realizada

por Medauar, Galvão, Carvalho y Silva (2018), concluyo que para esas condiciones edafoclimáticas y de clon, se presencié variabilidad temporal del índice de clorofila en las hojas, sin embargo, no hubo relación entre esa variable y el rendimiento del cacao.

Para el caso de cuantificación de raíces laterales del cacao, la investigación desarrollada por Niether, Schneidewind, Fuchs, Schneider y Armengot (2019). Concluyo que la producción de raíces laterales fue cuatro veces más en el sistema agroforestal y monocultivo orgánico que en el sistema de monocultivo convencional. Para llegar a esto, se establecieron los siguientes puntos de extracción i) 1.7 m, ii) 1.4m y iii) 0.4m de distancia al fuste, sin embargo, no se evidencian diferencias entre las muestras obtenidas a estas distancias.

4.2 Nutrición mineral

Las plantas cumplen un rol primordial dentro del ecosistema utilizando los minerales como insumos para luego generar servicios ecosistémicos. En cierto modo son considerados como los mineros de la corteza terrestre ya que cumplen la función de ser el medio de ingreso de los minerales a la biosfera. Este proceso se cumple cuando el sistema radical absorbe los nutrientes minerales en forma de iones inorgánicos. Tras su absorción por las raíces, estos nutrientes son distribuidos a diferentes partes de la planta para su utilización de en funciones biológicas (Taiz y Zeiger, 2006).

4.2.1 Nutrientes esenciales

Como se señala en Arnon y Scout (1939) citado por Taiz y Zeiger (2006) “solo algunos elementos son considerados esenciales para el crecimiento vegetal. Se define un elemento esencial como aquel cuya ausencia impide a la planta completar su ciclo vital”.

Se define que “la disponibilidad de estos elementos esenciales y la energía de la luz del sol permiten a las plantas la síntesis de todos los compuestos que son necesarios para su crecimiento normal” (Taiz & Zeiger, 2006).

4.2.2 Nitrógeno

Taiz y Zeiger (2006) Definen al nitrógeno como el “elemento mineral que las plantas requieren en mayor cantidad. Actúa como un constituyente de muchos componentes celulares, como aminoácidos y ácidos nucleicos. Así, una carencia de nitrógeno inhibe rápidamente el crecimiento vegetal”. Así mismo, los suelos pueden contener entre 0.1% y 0.6% de este elemento en los primeros 15 cm del suelo, lo que equivale a 2.000 y 12.000 kg N ha⁻¹ (Cameron, Di & Moir, 2012).

A pesar de su importancia, muchas veces no se aprovecha eficientemente. Esto genera pérdidas dentro del sistema suelo-planta y por consiguiente daña al medio ambiente y a la salud del ser humano. En ese sentido, el nitrógeno mineral utilizado en la agricultura tiende a perderse a través de la lixiviación de los nitratos (NO₃⁻) y volatilización del amonio (NH₄⁺), producto de la desnitrificación (Cameron, Di y Moir, 2012).

4.3 Abono orgánico

Como se señala en Taiz y Zeiger (2006) los fertilizantes orgánicos son producto de la transformación, parcialmente, de residuos animales y vegetales a través de procesos físicos, biológicos y/o químicos. Normalmente, estos abonos son de lenta liberación, ya que los nutrientes se encuentran en forma de compuestos orgánicos. Estos servirán de insumos para la actividad de la macro, meso y microfauna, además, serán sometidos a temperaturas, agua y oxígeno, dando lugar a la mineralización, en donde la materia orgánica se transforma en inorgánica, con el objetivo de que elementos como el nitrógeno sean asimilados por la planta. Sin embargo, la aplicación de abonos orgánicos, en la mayoría de casos, no es suficiente si es que el agricultor desea grandes rendimientos a corto plazo, es por esto, que se recomienda aplicar adicionalmente fertilizantes minerales (Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes, 2002)

Es importante resaltar que la obtención y la aplicación de estos abonos orgánicos con el fin de suplir los requerimientos nutricionales de la planta y el suelo, data de la antigüedad, razón por la cual, encontramos diversas presentaciones, diferenciándose una de otra por sus características físicas y químicas. Por ejemplo, estiércoles, residuos vegetales y orgánicos industriales, biol, compost, biochar, abonos verdes, harinas de cuerno y pezuña de ganado, etc. Asimismo, existe una relación directa entre la aplicación constante de estos productos y la conservación y mejora del suelo (Trinidad, 1987).

Como se indica en la investigación de (Pereg, Morugán-Coronado, McMillan y García-Orenes, 2018) el manejo sostenible del suelo a través de la aplicación de insumos orgánicos, tiene como consecuencia una mejora en los parámetros i)

químicos y ii) biológicos de este recurso natural. Para el primer punto, esta mejora se observó en el contenido de carbón orgánico y nitrógeno; respecto al segundo punto, se evidencio mejoras en la respiración, ácido graso fosfolípido, ADN total y la capacidad de agregación de los microorganismos del suelo. Así mismo, se aprecia un aumento de la comunidad microbiana involucrada en el ciclo del nitrógeno, específicamente, en la fijación y desnitrificación. En adición, Piaszczyk, Blonska y Lasota, (2017) demostraron que las aplicaciones de abonos orgánicos, después de un año en un vivero forestal mejoraron las características químicas y biológicas del suelo. Esto se aprecia con el aumento del contenido de materia orgánica del suelo, la cual está relacionada directamente con la actividad de enzimas tales como deshidrogenasa y Beta-glucosidasa.

4.3.1 Harina de cuerno y pezuña de ganado bovino

La industria ganadera es una actividad que ocupa el 30 % de la superficie terrestre, generando un ingreso mundial de al menos 1.4 billones de dólares. Uno de los aspectos más resaltantes es su dinamismo, en especial en países en vía de desarrollo, donde el consumo total en el año 2015 fue de 184 millones de toneladas (Steinfeld et al., 2006) con una proyección de 252 millones de toneladas para el 2030 (FAO 2006), a diferencia de países desarrollados, cuyas cifras son 112 millones de toneladas y 124 millones de toneladas respectivamente.

A nivel nacional, desde el 2015 al 2019, se beneficiaron un total de 6.768.482 cabezas de ganado bovinos (Direcciones Regionales de Agricultura, 2019), generando 6.362 toneladas de materia prima que no se habría aprovechado, siendo el relleno sanitario el lugar de reposo de estos residuos orgánicos (Documet, 2015). Potencialmente, estos desechos representan una fuente de contaminación para los ecosistemas, sobre todo cuando provienen de centros de beneficio animal que carecen de buenas prácticas de manufactura (Garzón, 2010). Por ejemplo, cuando estos residuos son desechados en algún afluente aledaño o cerca al matadero, se altera la cantidad de oxígeno disuelto (OD) y la demanda biológica de oxígeno (DBO), lo que afecta directamente a la fauna marina (Fechner & Vazques 2006).

4.3.1.1 Definiciones y características

En Documet (2015) se define lo siguiente respecto a los cuernos y pezuña de ganado bovino:

- Asta. – “Es el estuche córneo de la prolongación ósea del hueso frontal.”
- Cuernos. – “Es el asta con la prolongación ósea del hueso frontal.”
- Pezuñas. – “Es el estuche córneo que recubre la tercera falange de los miembros de los animales artiodáctilos y perisodáctilos.”

Por otro lado, El Diccionario de la Lengua Española (2014) define lo siguiente sobre estos residuos orgánicos:

- Asta. – “Cuerno (II prolongación ósea).”
- Cuernos. – “Prolongación ósea cubierta por una capa epidérmica o por una vaina dura y consistente, que tienen algunos animales en la región frontal.”
- Pezuñas. – “Conjunto de los pesuños de una misma pata en los animales ungulados.”

En adición, en el anexo uno del artículo dos del reglamento sanitario del faenado de animales de abasto, el cual fue aprobado por Decreto Supremo N°015-2012-AG, se clasifica a las pezuñas y cuerno como residuos sólidos.

4.3.1.2 Características químicas

Una de las características químicas de la harina de cuerno y pezuña de ganado es la lenta liberación de nitrógeno (Cayuela et al, 2010) cuyo efecto es beneficioso, a largo plazo. En tal caso, si es aplicado en el momento oportuno, teniendo en cuenta i) las condiciones edafoclimáticas, ii) los procesos fisiológicos de la planta y los requerimientos mínimos de nitrógeno para un rendimiento óptimo, la productividad de la parcela se verá potenciada.

Tabla 1

Parte de características químicas de la harina de cuerno y pezuña de ganado.

H (%)	pH	C.E (dS m ⁻¹)	COT (%)	NT (%)	COT/NT	CSA (mg g ⁻¹)	NSA (mg g ⁻¹)
16.0	7.5	2.2	51.3	17	3	13.7	5

H: humedad; COT: C orgánico total; NT: N total; CSA: C soluble al agua; NSA: N soluble al agua
Fuente: Adaptado de Cayuela et al, 2010.

En contraste, en la investigación de (Documet, 2015) se aprecia valores distintos en pH, CE, N y C/N. En adición, señala que la harina de cuerno y pezuña de ganado carece de fósforo y potasio, evidenciando la necesidad de complementarlo con insumos que contengan estos minerales en cantidades significantes, (Tabla 2).

Tabla 2

Parte de las características químicas de algunos fertilizantes orgánicos

Características		HCP	Guano de Isla	Compost	Humus
pH	UM	6.2	7.47	7.61	7.25
CE	dS/m	10.9	71.8	28.8	9.46
MO	%	96.52	53.93	15.6	42.66
N	%	13.58	12.18	2.47	1.74
P ₂ O ₅	%	0.16	12.76	0.7	1.34
K ₂ O	%	0.32	1.89	1.69	0.61
CaO	%	0.04	7.58	3.25	5.44
MgO	%	0.04	0.73	1.1	1.29
Hd	%		13.2	6.79	7.52
Na	%	0.16	1.71	0.34	0.43
S	%		2	0.18	0.37
Cu	ppm	6	27	57	56
Zn	ppm	99	144	561	341
Mn	ppm	26	36	737	698
Fe	ppm	1696	3812	10750	10580
B	ppm		108	72	73
C org.	%	56.12	31.35	9.01	24.8
C/N		4.13	2.57	3.65	14.25

Fuente: Adaptado de Documet, 2015.

4.4 *Theobroma cacao* L.

4.4.1 Taxonomía

- Autor: Linnaeus, Carl von
- Clase: Equisetopsida
- Subclase: Magnoliidae
- Superorden: Rosanae
- Orden: Malvales
- Familia: Malvaceae
- Género: *Theobroma*

4.4.2 Centro de origen

La Dirección General de Competitividad Agraria (2009), sostiene que durante mucho tiempo se creía que Mesoamérica era el centro de origen y domesticación, sin embargo, investigaciones recientes indican a los bosques tropicales húmedos del Amazonas como el lugar de origen (García, 2010) y domesticación de esta planta (Zarrillo, et al., 2018).

4.4.3 Descripción

Esta planta fue bautizada por Linneo en su obra "*Species Plantarum*" de 1773, en ella se describe al *Theobroma cacao* como una planta con un intervalo de altura es de 2 a 20 metros, esta variación dependerá si es que se encuentra desarrollada dentro de un sistema de producción o de manera natural. La copa presenta un follaje ralo, cuyas hojas se caracterizan por ser simples, alternas y dísticas. Estas presentan dimensiones que van desde los 10 hasta 35 cm de largo y 4 a 15 cm de ancho, en las que los mayores valores pertenecen a aquellas con mayor tiempo de vida. Estos órganos se encuentran distribuidos en las ramas plagiotrópicas que comúnmente se forman en verticilos terminales con tres a seis ramillas. Como eje principal, se encuentra el tronco de crecimiento dimórfico, parte de la planta al igual que las ramas maduras, en las que la inflorescencia se manifiesta. Estas son hermafroditas, actinomorfas y pentámeras. Respecto al fruto, corresponde a una baya oblongoide que presenta una longitud de 12 a 25 cm y 5 a 15 cm de diámetro, así mismo, evidencia superficie rugosa de color anaranjado a rojizo o marrón oscuro; estas características varían según al grupo de germoplasma al que pertenezcan. Finalmente, se encuentra el sistema radicular el cual se comprende de una raíz

pivotante, que puede llegar a desarrollarse a más de 2 m de profundidad y las raíces laterales, las cuales normalmente se encuentran en los primeros 30 cm del suelo y potencialmente pueden desarrollarse, de manera horizontal, hasta 4.8 m del fuste (Linneo, C. 1753; Avila et al., 2013; Reynel et al., 2016; Niether et al., 2019).

4.4.4 Variedades y distribución

García (2010) sostiene que la diversidad genética se da gracias a factores como el sistema de reproducción, el sistema genético de incompatibilidad, mecanismo de polinización cruzada, la recombinación genética y las características edafoclimáticas del lugar. Lachenud (1997), citado por (Romero, 2016) señala que en el Perú encontramos una serie de grupos que comprenden los diferentes cultivares de cacao, dicha segregación se da en base a germoplasmas naturales o en su defecto, artificiales. En tal caso, en la investigación realizada por Motomayor et al. (2008) se propuso una clasificación del germoplasma del cacao, agrupándolos en 10 grupos: Criollo, Marañon, Curaray, Iquitos, Nanay, Contamana, Amelonado, Purús, Nacional y Guiana. De estos, solo los cultivares pertenecientes al grupo Criollo se encuentran en los bosques primarios de Centro América, los demás; en América del Sur. Esta clasificación contrasta con la tradicional, ya que, en ella se clasifican en: criollo, forastero y trinitario, de los cuales, los dos últimos son ampliamente cultivados en países de África y Asia. Respecto al porcentaje que representan de la producción mundial, el criollo abarca entre el 5 al 8%, el forastero entre 80 y 85% y el trinitario entre 10 al 15% (Romero, 2016).

4.5 Rendimiento

Montero, Sumba y Salvador (2013) indican que la productividad agrícola se calcula con el rendimiento. Esta variable resulta de la división entre la cantidad producida y el área de trabajo, comúnmente, toneladas por hectárea (t/ ha), kilogramos por hectárea (kg/ha) y (kg/m²). Asimismo, las condiciones edafoclimáticas y/o laborales culturales intensivas pueden aumentar positivamente esta variable (Coronado, 2015).

4.5.1 Factores externos influyentes en el rendimiento

Para una mejora en el crecimiento, desarrollo y ciclo productivo, el cacao requiere protección contra vientos fuertes persistentes, a lo largo de su estadía

en el campo; este requerimiento se ve satisfecho cuando integramos en el sistema árboles (Paredes, 2003). Por otro lado, un adecuado plan de fertilización que contemple la aplicación constante de abonos orgánicos, tendría como consecuencia el mantenimiento de la capacidad de suelo para producir en niveles óptimos (Trinidad, 1987).

Los factores climáticos, como temperatura y humedad, afectan la fisiología y producción del cacao, por este motivo, es necesario resaltar la integración de otras especies vegetales en diferentes estratos para proveer las condiciones edafoclimáticas idóneas, así mismo, esta diversificación de especies significaría un mayor flujo de ingresos económicos (Paredes, 2003).

La integración de árboles al sistema genera ventajas exógenas y endógenas; sin embargo, el cultivo estará en desventaja si hay un exceso de sombra. Cabe resaltar que estos efectos varían según la especie seleccionada para integrar el sistema y si la unidad productiva se encuentra en condiciones óptimas. De ser así, se puede prescindir gradualmente del factor sombra (Beer et al., 1998).

4.5.1.1 Precipitación

Paredes (2003), indica que la precipitación distribuida apropiadamente es esencial para el crecimiento y desarrollo de esta planta, además, sostiene que este fenómeno es el que mayor variabilidad presenta durante el año, lo cual se intensifica notablemente de una región a otra. (López et al., 2011) señala que la precipitación necesaria se encuentra entre 1.200 a 3.000 mm/año; sin embargo (Paredes, 2003) indica que las precipitaciones que excedan los 2.600 mm/año, pueden afectar negativamente la producción del cacao. Estos autores coinciden en que el intervalo óptimo es de 1.600 a 2.500 mm/año distribuidos homogéneamente a lo largo del ciclo de vida; en contra parte, señalan que, los meses con una precipitación menor a 100 mm desencadenara un déficit hídrico, afectando la floración y el brote de hojas.

4.5.1.2 Temperatura

Paredes (2003), sostiene que la temperatura presenta una relación directa con procesos fisiológicos como el desarrollo, floración y fructificación de este cultivo. López et al, (2011) señalan que el óptimo es 25 ° C; así mismo, resalta el efecto negativo de las temperaturas por debajo de su mínimo (23 ° C) y por encima de su máximo (32 ° C) señalando que la función de la raíz se ve limitada, además

recomienda el uso de hojarasca como cobertura vegetal con el fin de proteger el suelo.

4.5.1.3 Viento

En plantaciones con un parámetro de velocidad de viento de 4 m/seg y sin presencia de una barrera se observa defoliación prematura. Así mismo, este agente determina la velocidad de evapotranspiración (Paredes, 2003).

4.5.1.4 Luminosidad

La luz proveniente del sol es un factor importante para el desarrollo y crecimiento de cualquier planta superior por su rol en la fotosíntesis (Taiz & Zeiger, 2006), este proceso sucede en una baja intensidad, aun así, la incidencia de los rayos solares este en su máximo (Paredes, 2003). En esta planta, el requerimiento varía según la etapa de desarrollo, para plantas jóvenes se recomienda la integración de árboles con el fin de generar sombra, ya que disminuye el efecto negativo sobre éste; sin embargo, en plantaciones ya establecidas, un % mayor a 50 de luminosidad aumenta el rendimiento del cultivo (Paredes, 2003).

Como se indica en Granada y Nogales (2012) la producción del cacao, en un sistema sin sombra puede ser el doble que la de uno con sombra; sin embargo, esta ventaja no es sostenible a lo largo del tiempo, teniendo como consecuencia una disminución de la producción.

5. Objetivos e hipótesis

5.1 Objetivos general

- Determinar el efecto de la harina de cuernos y pezuña (HCP) de ganado bovino en el rendimiento del *Theobroma cacao L.*

5.1.1 Objetivo específico

- Determinar la dosis de HCP más eficiente en la fase productiva del *Theobroma cacao L.*

5.2 Hipótesis nula y alterna

- Ha: Alguno de los tratamientos con HCP tendrá por lo menos un efecto significativo, mayor producción, en los indicadores biométricos relacionados con la productividad del *Theobroma cacao L.*
- Ho: Ninguno de los tratamientos con HCP tendrá un efecto significativo, mayor producción, en los indicadores biométricos relacionados con la productividad del *Theobroma cacao L.*

6. Materiales y métodos

La presente investigación se desarrolló en dos etapas:

Etapa I: Elaboración de la HCP (28 de septiembre al 20 de diciembre del 2018).
 Etapa II: Evaluación del efecto de la HCP en la parcela experimental (27 de diciembre del 2018 al 16 de marzo del 2020).

6.1 Etapa I

6.1.1 Lugar de ejecución

Se ejecutó en el área de fertilidad de suelos de la Universidad Agraria la Molina y en la planta de industrias alimentaria de la misma Universidad.

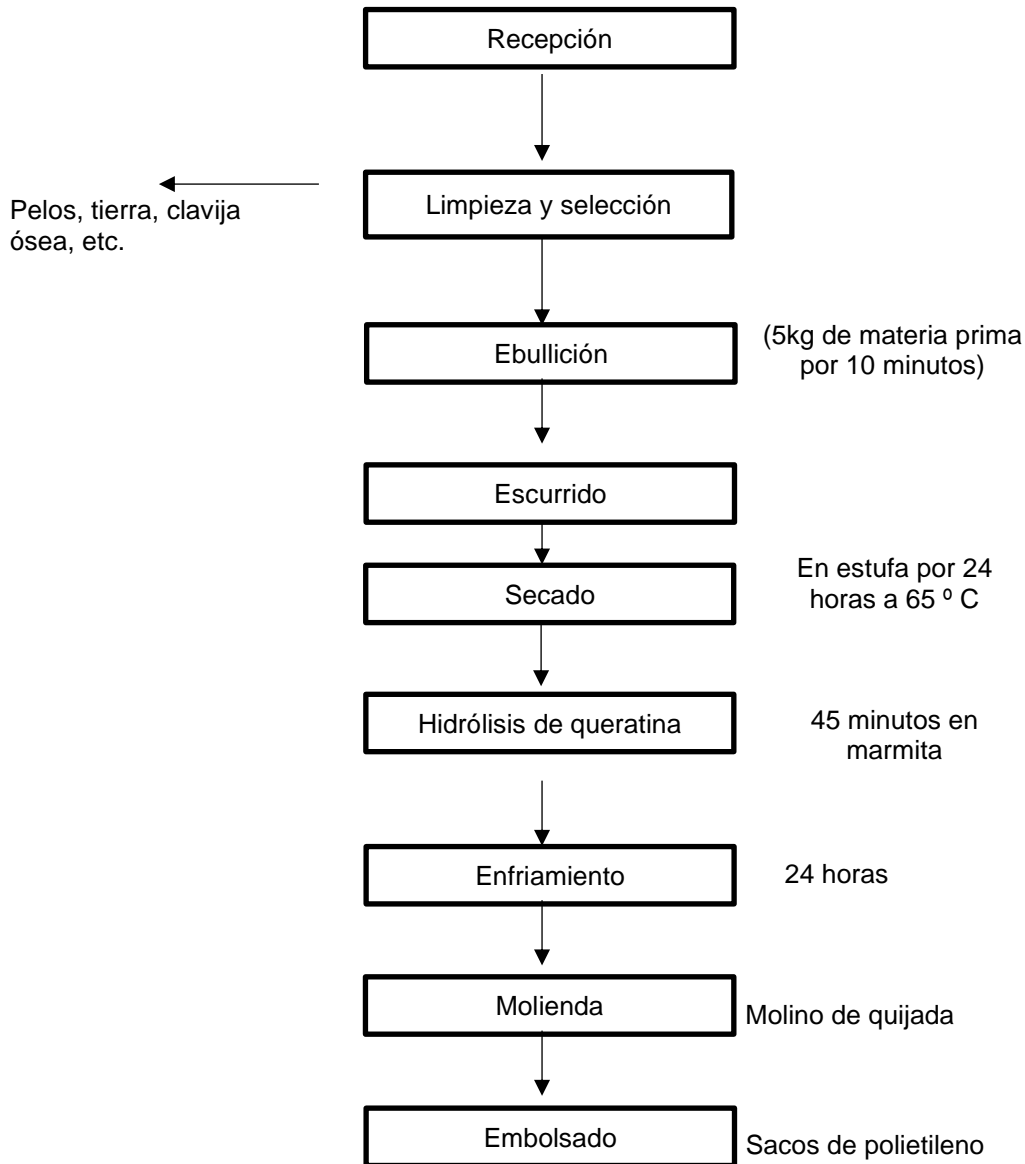
6.1.2 Materia prima

Se empleó cuernos y pezuña de ganado del camal de San Pedro- Lima. El ganado perteneció a las unidades productivas ganaderas de las provincias de Arequipa, Cuzco y Cajamarca. La materia prima fue acondicionada en el área de

fertilidad de suelos de la Universidad Agraria la Molina para luego ser procesada en la planta de industria alimentaria de la misma universidad (Anexo I).

6.1.2.1 Harina de cuerno y pezuña de ganado bovino

Para la obtención de este abono orgánico no convencional se siguieron las instrucciones indicadas en la investigación realizada por Documet, (2015). En este caso, se desarrolló el proceso de cocción simple (Figura 1) con la finalidad degradar y desnaturalizar la queratina presente en estos residuos orgánicos (Noval & Nickerson, 1958; Kida et al, 1995; Sharma & Gupta, 2016).



Fuente: Adaptado de Documet, 2015.

Figura 1. Flujograma de la HCP a través de una cocción simple utilizando 5kg de materia prima.

6.2 Etapa II

6.2.1 Lugar de ejecución

Se ejecutó en el campo de la estación experimental “Juan Bernito” (Figura 3), perteneciente al Instituto de Cultivos Tropicales del Perú en Tarapoto (Figura 2), Departamento de San Martín. Esta estación comprende 10 ha ubicadas a 25 km de la carretera IRSA norte, que conduce a Yurimaguas. En este centro de investigación encontramos asociaciones de cacao, café (*Coffea*), cítricos (*Citrus*), guanábana (*Annona muricata*), sacha inchi (*Plukenetia volubilis*), etc; siendo el cacao (*Theobroma cacao* L) el eje principal del sistema productivo.



Figura 2. Ubicación de Tarapoto respecto al mapa de Perú (6°32'43"S; 76°23'14"O – Google Earth)



Figura 3. Ubicación de la parcela experimental “Juan Bernito” en Tarapoto ($6^{\circ} 30' 03''S$; $76^{\circ} 20' 14''O$ - Google Earth)

6.3 Equipos y materiales

- Medidor de área de hojas portátil YMJ-B Luzeren
- Medidor de contenido de clorofila Konica Minolta SPAD
- Estufa Memmert
- Calculadora
- Cámara fotográfica
- Laptop
- Balanza de kg
- Papel film
- Guantes
- Recipientes de plástico
- Tamiz
- Pinzas
- 5 anillos de 2.76 cm de altura y 3 cm de radio
- Urea comercial
- Harina de cuerno y pesuña de ganado vacuno
- Superfosfato triple comercial
- Cloruro de potasio comercial
- Tijeras de poda
- Machetes
- Palas
- Escalera

6.3.1 Clones de cacao

Corresponden a híbridos propagados por semillas de clones de CCN51, los cuales se establecieron con la finalidad de servir como material genético de injerto. En relación al manejo agronómico de estos, al momento del establecimiento en campo, se aplicó como enmienda 250 g de guano de isla mezclado con 0.5 kg de fertilizante inorgánico (14 N – 12 P – 4K) a cada planta. Durante el crecimiento, el plan de fertilización contemplo 0.5 kg de 196 N – 250 P – 220 K de urea, fosfato diamónico y cloruro de potasio, respectivamente, por planta. Respecto al control de plagas y enfermedades, se aplicó un manejo integrado de plagas y enfermedades, en adición, el control de malezas se dio de manera manual. Finalmente se realizó una poda drástica por año.

6.4 Métodos y procedimiento

6.4.1 Instalación del experimento y parámetros de evaluación

El experimento en campo duró 14 meses, en el cual los indicadores evaluados fueron área de las hojas, contenido de clorofila y peso de raíces laterales secas.

6.4.2 Diseño experimental

Se seleccionaron 24 plantas de cacao de 15 años de edad a una densidad de 3 x 1 m (Figura 4) y se distribuyeron en seis tratamientos. Cada tratamiento conto con 4 repeticiones, las cuales se arreglaron en un diseño estadístico de un

bloque completo al azar considerando el efecto borde (Figura 5). Las dosis de fertilización (Tabla 3) se calcularon en base al análisis inicial del suelo (Tabla 5) y el % de nitrógeno de la HCP (Tabla 4) (Sánchez et al., 2005) Se realizó una prueba comparativa utilizando las dosis calculadas de HCP con los testigos; así mismo, el total de las dosis de fertilización se fraccionaron en 4 enmiendas, las cuales fueron aplicadas en enero, marzo (Figura 6), julio y octubre del 2019 (Anexo II).



Figura 4. Foto de la parcela experimental en “Juan Bernito” ICT-Tarapoto después de la poda drástica, 3 de enero 2019.

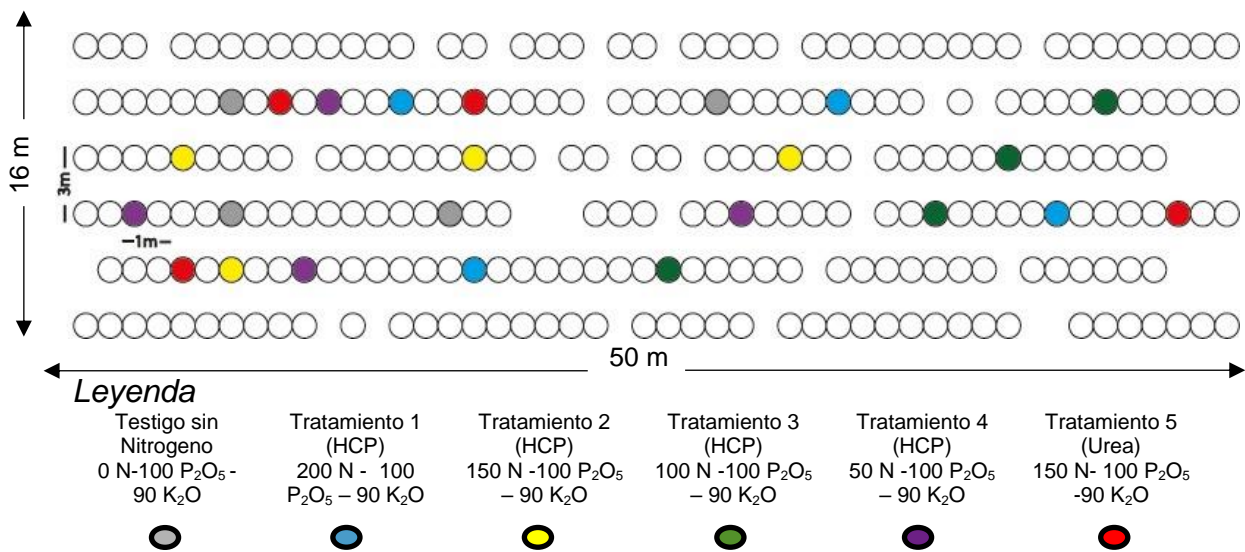


Figura 5. Representación gráfica de la parcela experimental en “Juan Bernito” Tarapoto (Población: 253 plantas de cacao – Muestra: 24 plantas de cacao).

Tabla 3

Descripción de las dosis de nitrógeno, fosforo y potasio aplicados en la parcela experimental de “Juan Bernito” Tarapoto.

	Tratamiento	Dosis de N g planta ⁻¹	Dosis de P g planta ⁻¹	Dosis de K g planta ⁻¹	Dosis kg ha ⁻¹
0	Testigo sin N	-	47.5	32.5	0 N-100 P ₂ O ₅ -90 K ₂ O
1	10.64 kg de HCP	332.5	47.5	32.5	200 N - 100 P ₂ O ₅ - 90 K ₂ O
2	7.98 kg de HCP	249.9	47.5	32.5	150 N -100 P ₂ O ₅ - 90 K ₂ O

3	5.32 kg de HCP	166.6	47.5	32.5	100 N -100 P ₂ O ₅ – 90 K ₂ O
4	2.66 kg de HCP	83.3	47.5	32.5	50 N -100 P ₂ O ₅ – 90 K ₂ O
5	Urea	72.5	47.5	32.5	150 N- 100 P ₂ O ₅ -90 K ₂ O

Fuente: Elaboración propia



Figura 6. Aplicación de la segunda dosis de HCP en la estación experimental de “Juan Bernito” ICT-Tarapoto, 21 de marzo del 2019.

6.5 Indicadores biométricos

6.5.1 Área de las hojas

Para la recolección de estos datos (Figura 7), primero se dividió la copa de la planta en 4 sectores según los puntos cardinales, luego se procedió a medir 10 hojas por planta considerando la parte baja, media y alta de la copa (Figura 8), evitando la incidencia de la luz solar en el medidor portátil. Esta operación se desarrolló bajo las siguientes consideraciones i) analizar hojas sanas (Salazar et al., 2018) y ii) exclusión de hojas nuevas y muy maduras. Estas mediciones ocurrieron en julio y octubre del 2019 y enero y marzo del 2020 (Anexo II).

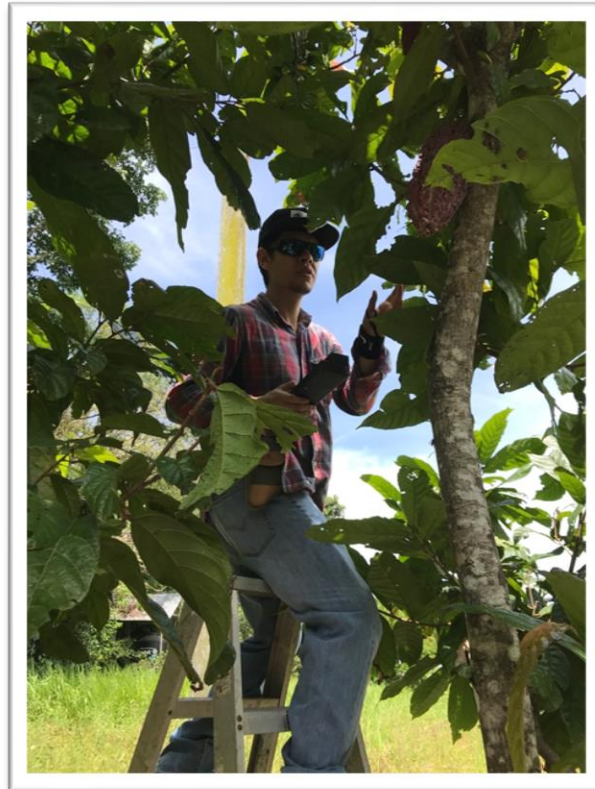


Figura 7. Obtención del área de las hojas con el medidor portátil YMJ-B en la parcela experimental de “Juan Bernito” ICT-Tarapoto, 4 de octubre del 2019.

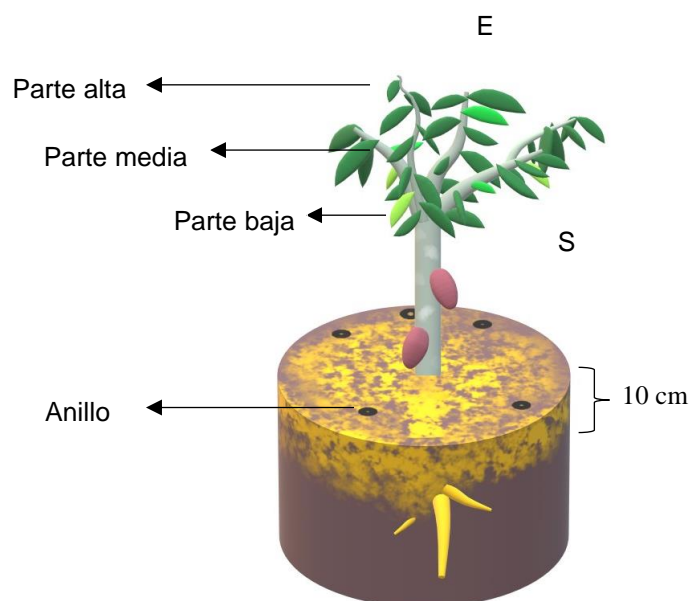


Figura 8. Representación gráfica de la metodología aplicada para la obtención de los indicadores biométricos.

6.5.2 Contenido de clorofila

Los datos de este indicador se obtuvieron analizando la cuarta hoja de cada rama de cada planta con la Konica Minolta SPAD, cuyas siglas hacen referencia al valor crítico del índice de clorofila obtenido a través del desarrollo analítico del suelo y planta (SPAD). Las consideraciones fueron las mismas que para el área de las hojas (Figura 8) a excepción de que para este indicador se analizaron 4 hojas por planta. Estas mediciones se dieron en julio (Figura 9) y octubre del 2019 y enero del 2020 (Ardisana et al., 2018).

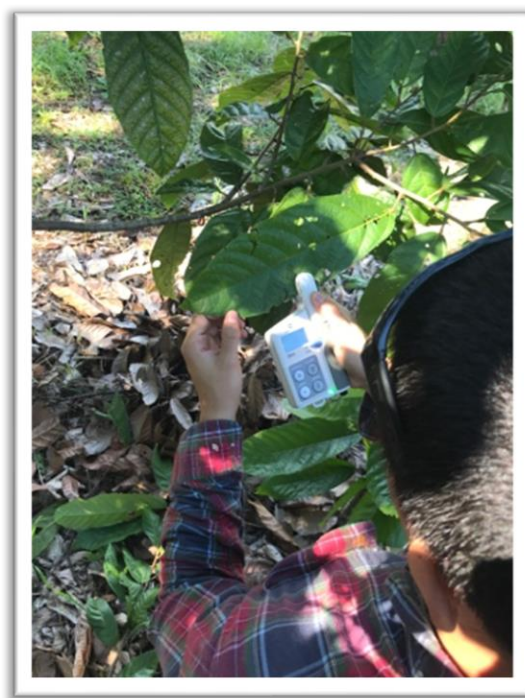


Figura 9. Prueba del medidor de clorofila en la parcela experimental de “Juan Bernito” ICT- Tarapoto, 8 de julio del 2019.

6.5.3 Peso de raíces laterales

Etapa I: Campo

Se dispuso 5 anillos de 2.76 cm de altura y 3 cm de radio a 50 cm del frutal. La distancia entre estos fue de 40 cm (Niether et al., 2019) a excepción de uno, el cual estuvo a 25 cm de los laterales (Figura 8). Una vez establecidos, se procedió a enterrarlos en los primeros 10 cm del suelo para luego extraerlos con la pala (Figura 10). Las muestras fueron depositadas en bandejas, una por planta, para luego ser llevadas al laboratorio. Estas extracciones se dieron en julio del 2019 y marzo del 2020.



A

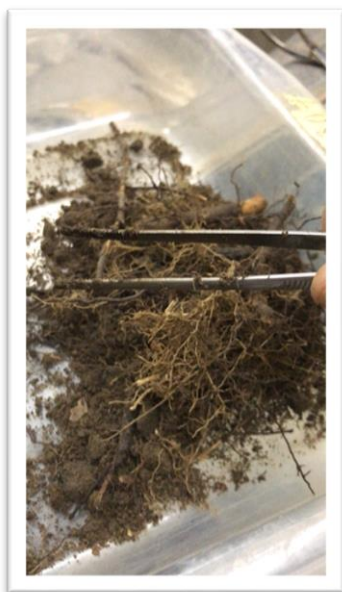


B

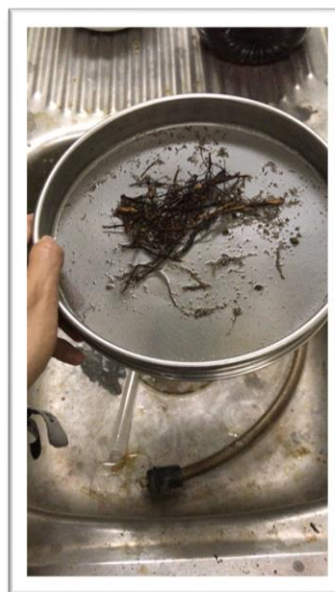
Figura 10. Entierro del anillo a 10 cm del suelo **(A)** y extracción de este con el contenido de suelo y raíces laterales de la plata **(B)** en la parcela experimental de “Juan Bernito” ICT-Tarapoto, Julio 2019.

Etapa II: Laboratorio

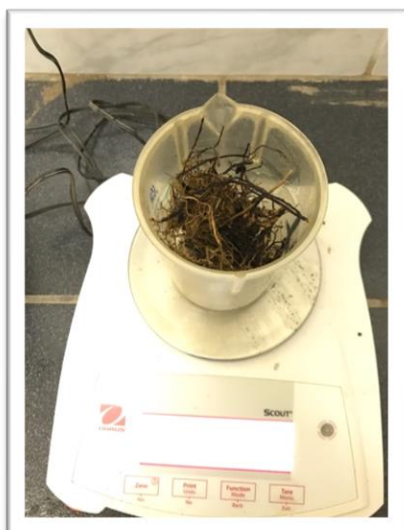
Se separaron todas las partículas y/o coloides que no correspondían a las raíces laterales con ayuda de pinzas y un tamiz (Figura 11). Luego se procedió a pesar las raíces húmedas para posteriormente ser depositadas en la estufa a 75° C por 3 días (Figura 11). Como medio de verificación de la efectividad en el secado se quebró algunas raíces para comprobar que no existiera resistencia a dicha acción; finalmente se pesaron las raíces secas (Schuurman, J., & Goedewaagen, A. 1971). Estas mediciones sucedieron en julio del 2019 y marzo del 2020.



C



D



E



F

Figura 11. Limpieza de las raíces laterales utilizando una pinza (C) y tamiz (D), peso de las raíces laterales húmedas (E) y secado de estas en una estufa a 75 ° C por 3 días (F), Instalaciones del Laboratorio del ICT- Tarapoto, julio 2019.

6.6 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) al 95% de confianza para la verificación de diferencias significativas y se realizó la prueba de comparación de medias de Bonferroni al 5% de probabilidad. Adicionalmente, se utilizó un modelo de regresión lineal para determinar las dosis óptimas de HCP para la planta, para este caso se ejecutaron y analizaron los supuestos de normalidad mediante la prueba estadística de Shapiro – Wilk y el test de Levene para la homogeneidad de varianza.

7. Resultados

7.1 Resultado del análisis químico de la harina de cuerno y pezuña (HCP)

El análisis químico de este abono orgánico no convencional se muestra en la Tabla 4. Los resultados indican que los parámetros más resaltantes de la HCP, son el i) alto contenido de nitrógeno (15%), el cual está bajo la forma de amonio la forma de amonio (NH_4^+), ii) contenido de materia orgánica total (94.9 %), iii) contenido de azufre (2.32 %), iv) pH (5.93), el cual lo clasifica como ligeramente ácido y el v) poco contenido de fósforo (0.08%) y potasio (0.149%). En adición, el contenido de microelementos como boro, calcio, hierro, magnesio, manganeso, molibdeno, sodio y zinc, representan cantidades mínimas en comparación al nitrógeno.

Tabla 4

Análisis químico de la HCP empleada

Parámetros Químicos	Resultado	Unidades
pH (extracto 1/10)	5.93	
Azufre	2.32	%

Boro	< 5.00	mg/kg
Calcio	0.426	%
Cloruros	1050	mg/kg
Cobre	6.50	mg/kg
Fósforo	0.08	%
Hierro	6091	mg/kg
Magnesio	< 0.06	%
Manganeso	66.4	mg/kg
Materia Orgánica Total	94.9	%
Molibdeno	< 2.50	mg/kg
Nitrógeno total	15.0	%
Potasio	0.149	%
Relación C/N	3.66	
Sodio	926	mg/kg
Zinc	232	mg/kg
Conductividad Eléctrica (extracto 1/10) s.m.s	2696	μS/cm a 20° C
Nitratos	< 0.06	%
Amonio	> 1000	mg/kg

Fuente: Elaboración propia

}
7.2 Caracterización del suelo de la parcela experimental

Los resultados indican que esta parcela experimental presenta algunas condiciones edáficas idóneas para el desarrollo de esta planta. Por ejemplo, parámetros químicos como i) pH y ii) conductividad eléctrica (C.E), presentan valores óptimos para el desarrollo de esta planta; no obstante, se observan valores bajo de materia orgánica (M.O), nitrógeno (N) y potasio (K). Respecto a las características físicas, se aprecia una clase textural de arcilla – arenoso cuyos porcentajes de cada coloide se encuentran en el rango optimo (considerando los estándares brindados por Paredes, 2003; van Vliet & Giller, 2017).

Tabla 5

Análisis inicial del suelo, caracterización física y química de la parcela experimental perteneciente a la estación “Juan Bernito” Tarapoto

Campo	pH	C.E dS/m	CaCO ₃ %	M.O %	N %	P (ppm)	K (ppm)	Análisis Mecánico				CIC pH 7.0	Cationes cambiables					Suma de Bases	% Sat. de Bases	% Sat de Al ³⁺
								Arena	Limo %	Arcilla	Clase Textural		Ca ²⁺	Mg ²⁺ cmol/kg	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ +H ⁺			
Muestra	6.30	0.31	<0.3	1.26	0.06	7.96	22	61.52	3.28	35.20	Arc-Are	9.79	6.23	0.40	0.06	0.10	0.00	6.79	69.3	0.0
Interpretación	Ligeramente ácido	No salino	Bajo	Bajo	Bajo	Disponibilidad media	Disponibilidad baja			Arcillo Arenoso		Media	Alto	Medio	Bajo	Bajo				

Fuente: Elaboración Propia

7.3 Área de las hojas

Para el mes de julio - 2019 (Figura 12), en donde el tiempo transcurrido entre el establecimiento de la parcela experimental y esta medición fue de 7 meses y con la aplicación de 2/4 de las dosis establecidas, se obtuvieron los siguientes valores: 184.68 (T0), 186.42 (T1), 178.13 (T2), 165.77 (T3), 202.18 (T4) y 219.76 (T5) cm². Debido a esto, encontramos diferencia significativa entre el T5 y el T3 según la prueba de Bonferroni.

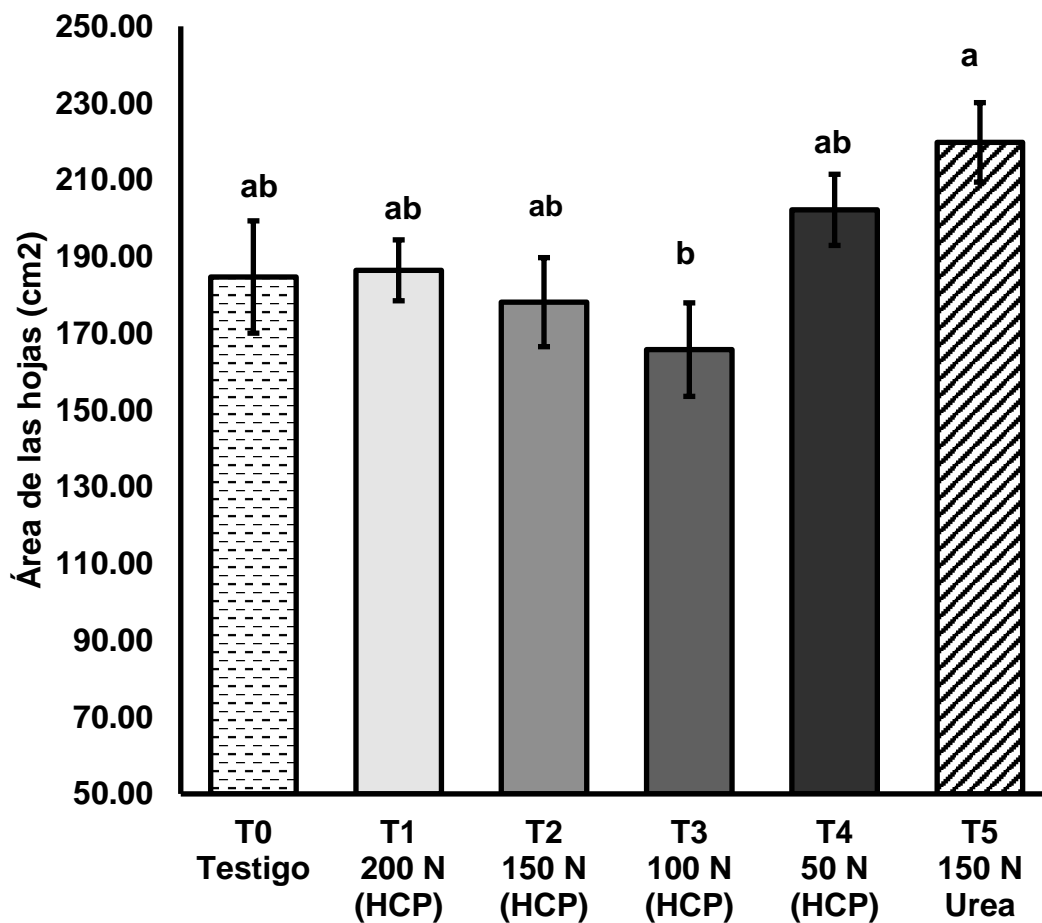


Figura 12. Media del área de las hojas de los tratamientos en el mes Julio, 2019, en la parcela experimental de “Juan Bernito” Tarapoto. Barras que compartan la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Bonferroni (al 5% de probabilidades).

Para el mes de octubre - 2019 (Figura 13), en donde el tiempo transcurrido entre el establecimiento de la parcela experimental y esta medición fue de 9 meses y con la aplicación de 3/4 de las dosis establecidas, se obtuvieron los siguientes valores: 157.15 (T0), 174.52 (T1), 196.62 (T2), 178.30 (T3), 206.12 (T4) y 193.81

(T5) cm². Evidenciando diferencia significativa entre el T0 y el T4, según la prueba de Bonferroni

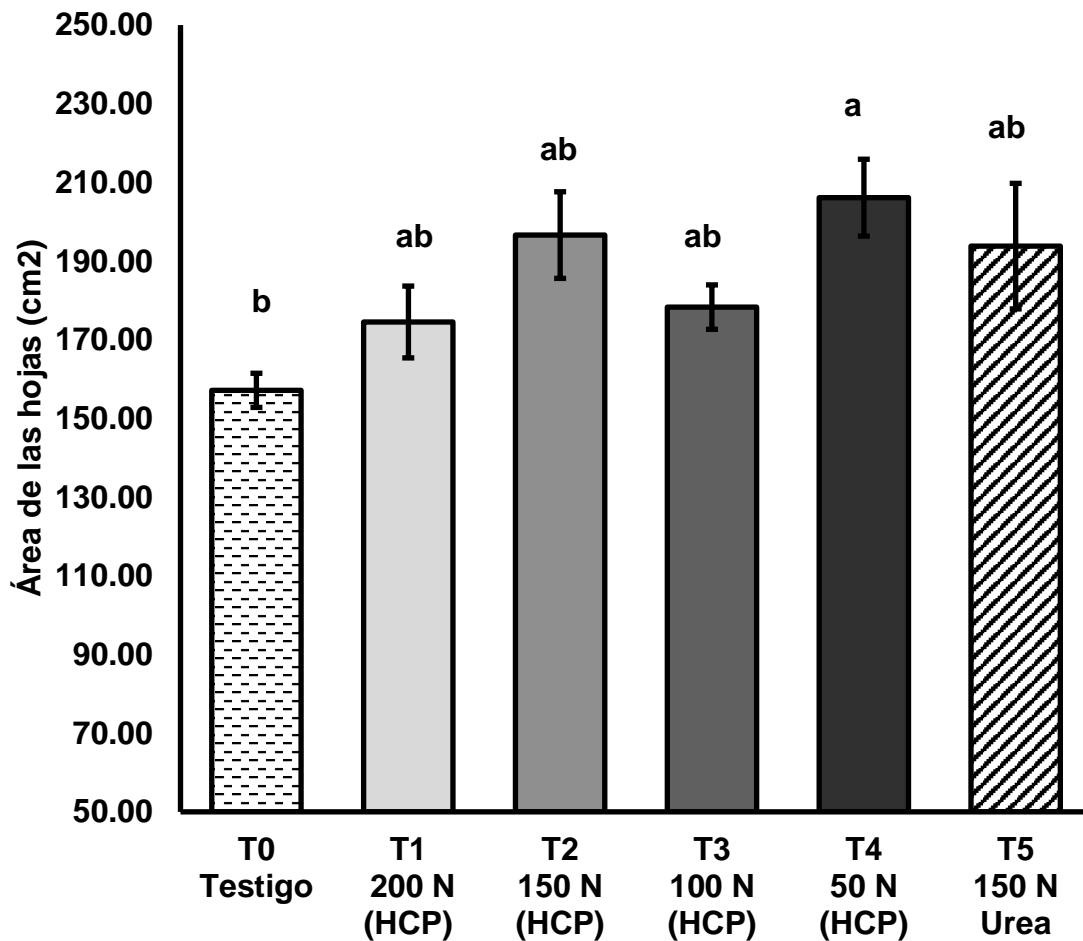


Figura 13. Media del área de las hojas de los tratamientos en el mes de octubre, 2019, en la parcela experimental de “Juan Bernito” Tarapoto. Barras que compartan la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Bonferroni (al 5% de probabilidades).

Para el mes de enero - 2020 (Figura 14), en donde el tiempo transcurrido entre el establecimiento de la parcela y esta medición fue de 12 meses y con la totalidad de dosis aplicadas, se obtuvieron los siguientes valores: 209.66 (T0), 219.31 (T1), 213.39 (T2), 194.25 (T3), 204.55 (T4) y 212.84 (T5) cm². Debido a esto no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos según la prueba de Bonferroni.

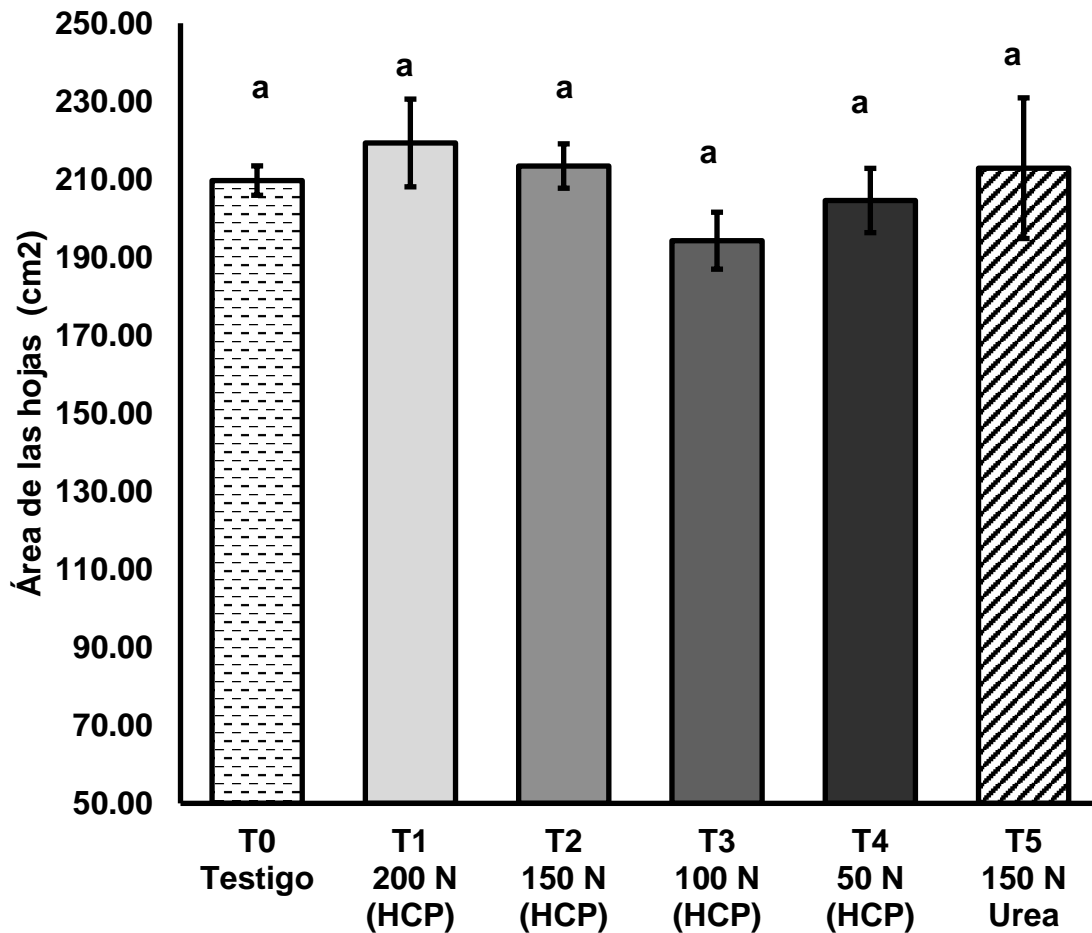


Figura 14. Media del área de las hojas de los tratamientos en el mes de enero, 2020 en la parcela experimental de “Juan Bernito” Tarapoto. Barras que compartan la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Bonferroni (al 5% de probabilidades).

Para el mes de marzo - 2020 (Figura 15), en donde el tiempo transcurrido entre el establecimiento de la parcela y esta medición fue de 14 meses y con la totalidad de dosis aplicadas, se obtuvieron los siguientes valores: 197.12 (T0), 206.94 (T1), 216.69 (T2), 199.96 (T3), 204.29 (T4) y 209.52 (T5). Debido a esto, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos según la prueba de Bonferroni.

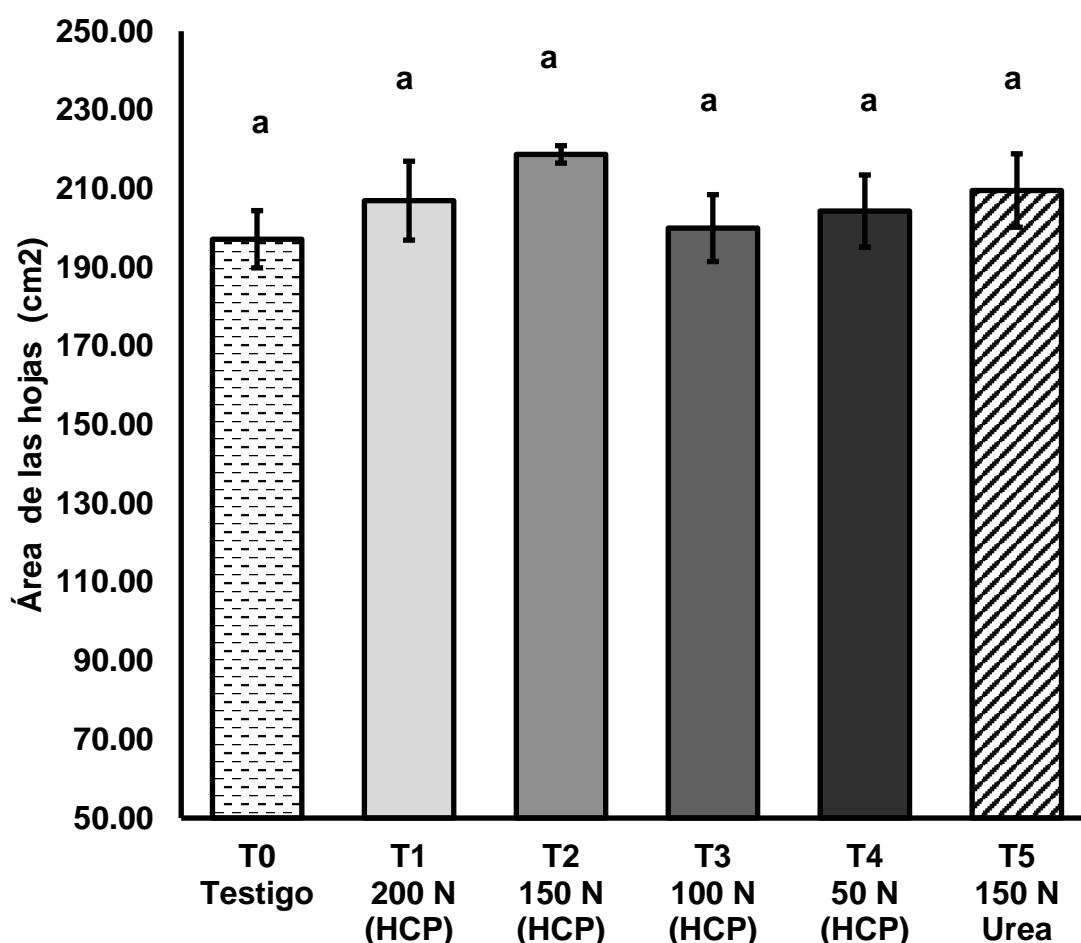


Figura 15. Media del área de las hojas de los tratamientos en el mes de marzo, 2020 en la parcela experimental de “Juan Bernito” Tarapoto. Barras que comparten la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Bonferroni (al 5% de probabilidades).

7.4 Contenido de clorofila

La pendiente de la ecuación perteneciente a la regresión lineal simple (Figura 16) nos indica que, cada vez que ocurra un incremento de 50 g de nitrógeno en la dosis de fertilización, habrá un aumento en 0.0824 en el contenido de clorofila de la planta. Por otro lado, señala que aquellas plantas que no han sido fertilizadas con nitrógeno (0 g planta⁻¹) evidenciarán un valor de 50.153 clorofila SPAD. En adición, el valor de R² nos indica que, la ecuación representa el 55% de la distribución de los datos; por lo cual no es una ecuación confiable.

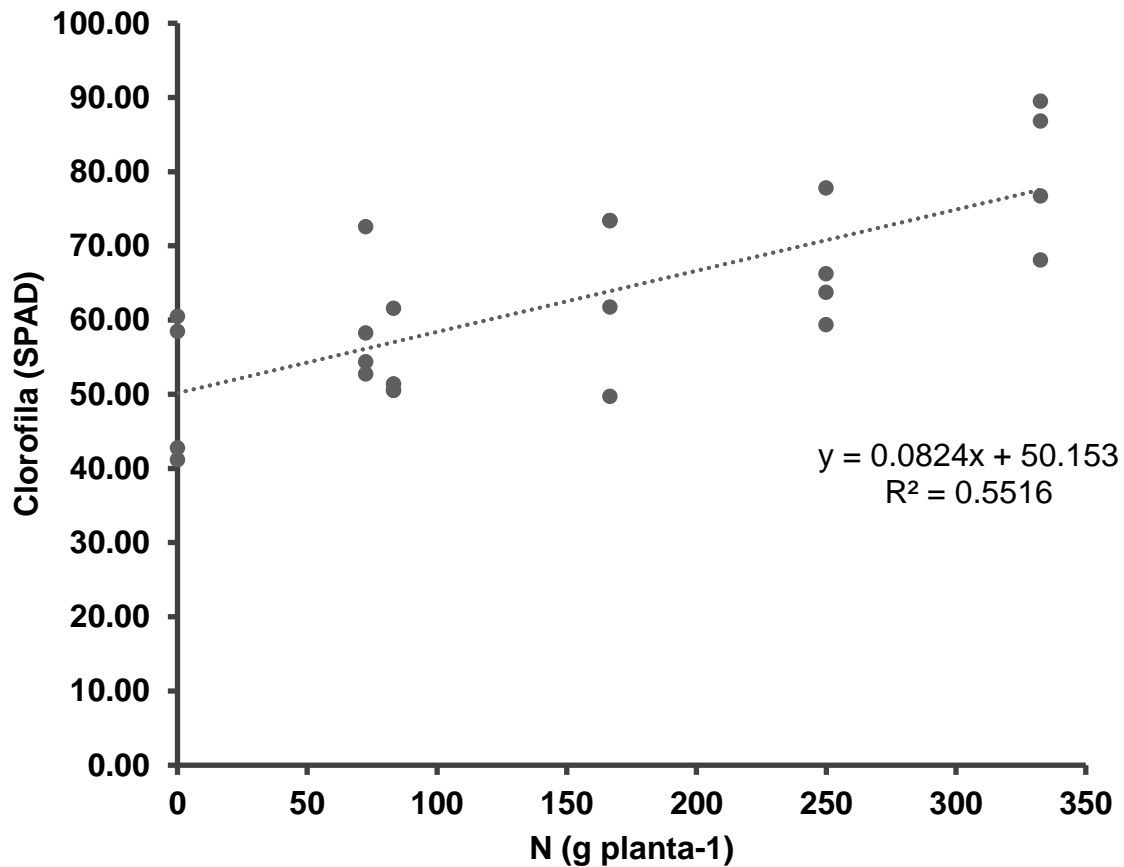


Figura 16. Estimación de la relación lineal entre el contenido de clorofila SPAD y la dosis de nitrógeno por planta al mes de enero-2020. En dicho periodo las 4 dosis ya fueron aplicadas por planta en la parcela experimental de “Juan Bernito” Tarapoto.

Para el mes de julio - 2019 (Figura 17), en donde el tiempo transcurrido entre el establecimiento de la parcela experimental y esta medición fue de 7 meses y con la aplicación de 2/4 de las dosis, se obtuvieron los siguientes valores: 37.3 (T0), 44.8 (T1), 51.3 (T2), 60.6 (T3), 57.3 (T4) y 62.7 (T5) SPAD. Evidenciando diferencias significativas entre las medias de los tratamientos T0 y T2, T0 y T3, T0 y T4, T0 y T5, T1 y T3, T1 y T5, según la prueba de Bonferroni. Esto resalta el efecto significativo de las menores dosis de HCP en este indicador biométrico.

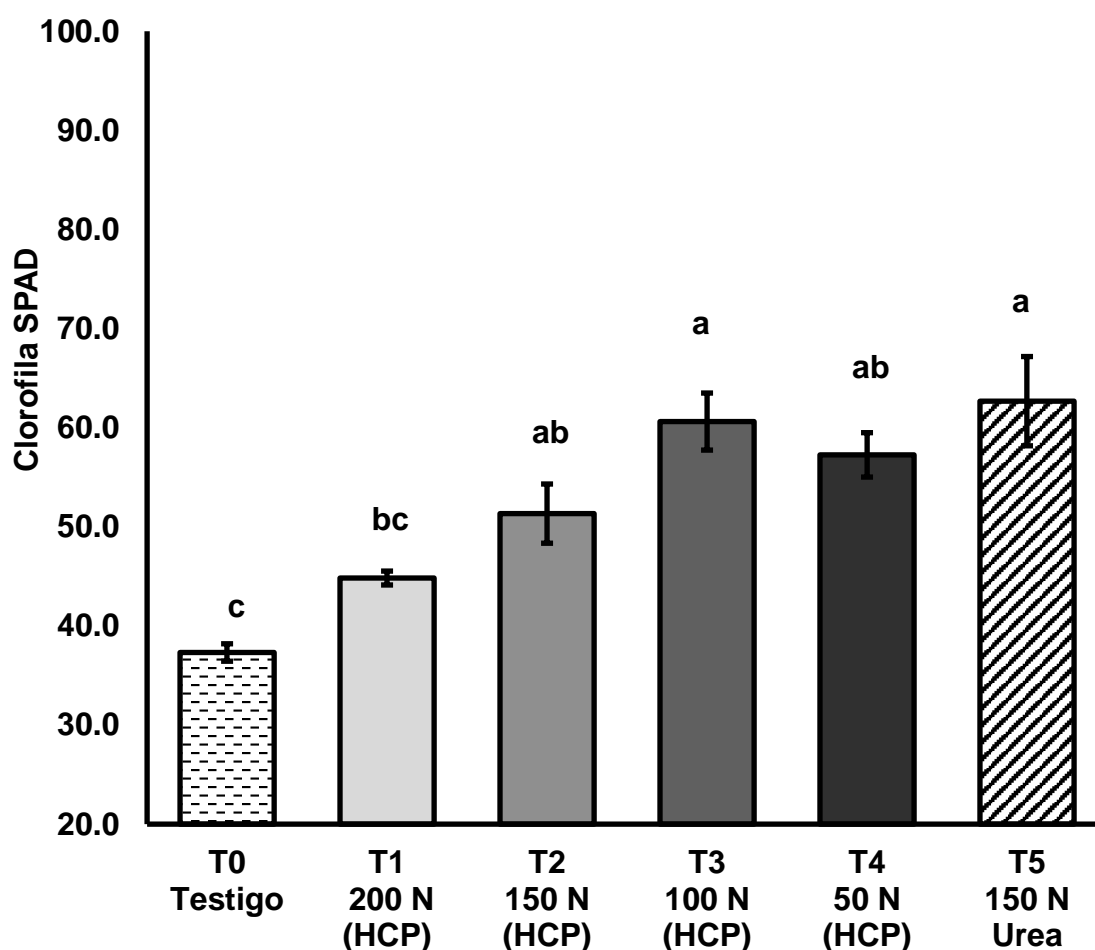


Figura 17. Media del contenido de clorofila de los tratamientos en el mes de julio, 2019 en la parcela experimental de “Juan Bernito” Tarapoto. Barras que compartan la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Bonferroni (al 5% de probabilidades).

Para el mes de octubre - 2019 (Figura 18), en donde el tiempo transcurrido entre el establecimiento de la parcela experimental y esta medición fue de 9 meses y con la aplicación de 3/4 de las dosis establecidas, se obtuvieron los siguientes valores: 44.06 (T0), 54.51 (T1), 52.03 (T2), 50.50 (T3), 50.74 (T4) y 48.37 (T5) SPAD. Debido a esto, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, según la prueba de Bonferroni.

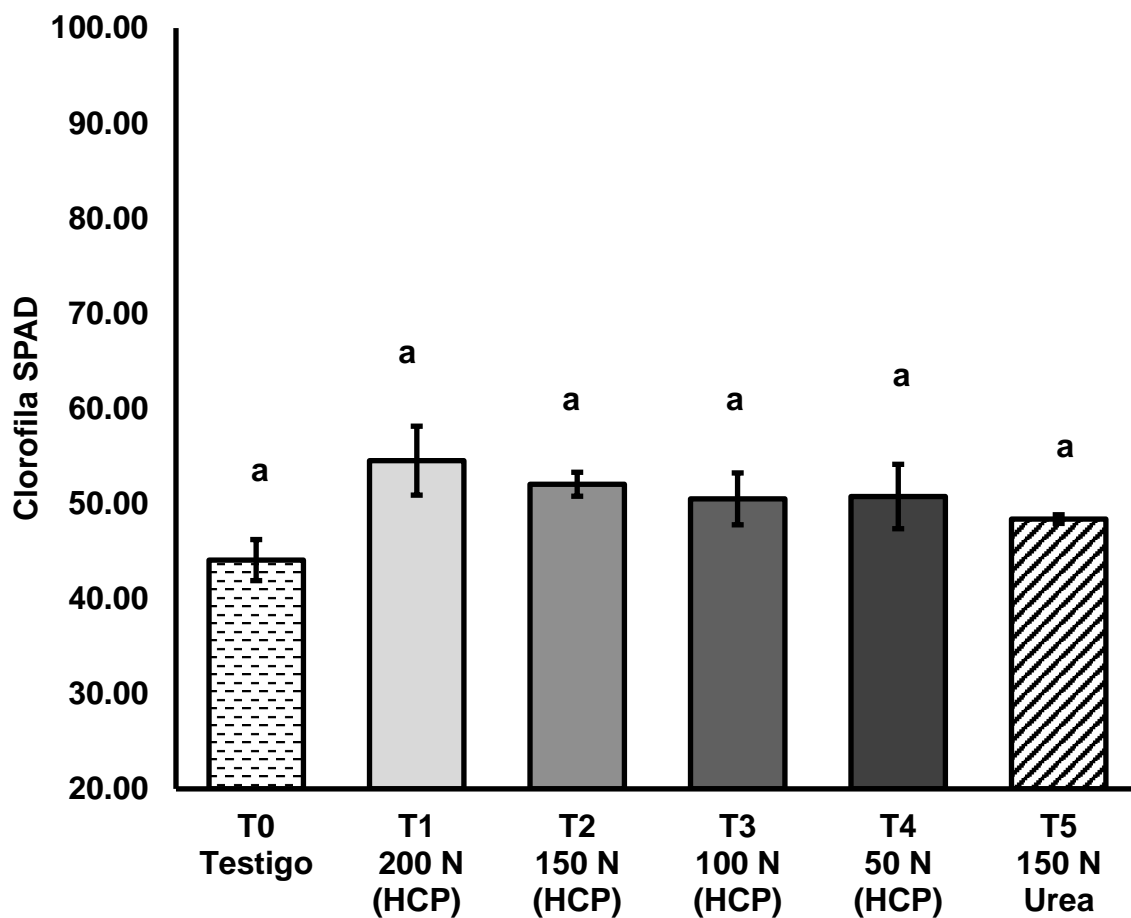


Figura 18. Media del contenido de clorofila de los tratamientos en el mes de octubre, 2019 en la parcela experimental de “Juan Bernito” Tarapoto. Barras que compartan la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Bonferroni (al 5% de probabilidades).

Para el mes de enero - 2020 (Figura 19), en donde el tiempo transcurrido entre el establecimiento de la parcela y esta medición fue de 12 meses y con la totalidad de dosis aplicadas, se obtuvieron los siguientes valores: 50.75 (T0), 80.30 (T1), 66.81 (T2), 64.59 (T3), 53.53 (T4) y 59.51 (T5) SPAD. Esta figura nos indica diferencias significativas entre las medias del T0 y T1 y el T1 y T4, según la prueba de Bonferroni.

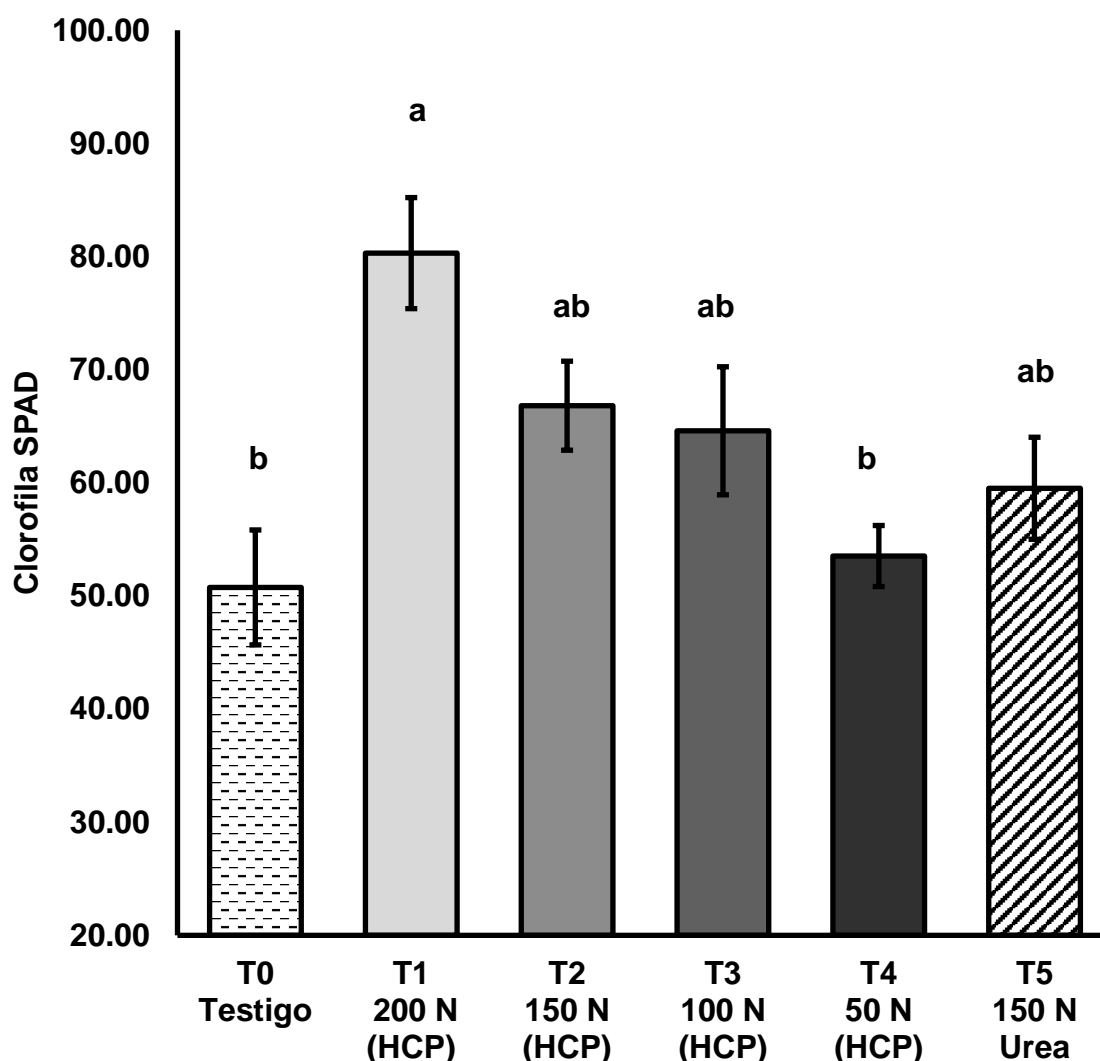


Figura 19. Media del contenido de clorofila de los tratamientos en el mes de enero, 2020 en la parcela experimental de “Juan Bernito” Tarapoto. Barras que compartan la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Bonferroni (al 5% de probabilidades).

7.5 Peso de raíces laterales

Para el mes de julio - 2019 (Figura 20), en donde el tiempo transcurrido entre el establecimiento de la parcela experimental y esta medición fue de 7 meses y con la aplicación de 2/4 de las dosis establecidas, se obtuvieron los siguientes valores: 3.46 (T0), 4.44 (T1), 3.09 (T2), 5.12 (T3), 3.75 (T4) y 3.68 (T5) mg/cm³. Esta figura señala diferencias significativas entre las medias de los tratamientos T0 y T3, T2 y T3, T3 y T4, T3 y T5, según la prueba de Bonferroni. Esto resalta el efecto significativo de las menores dosis de HCP en este indicador biométrico.

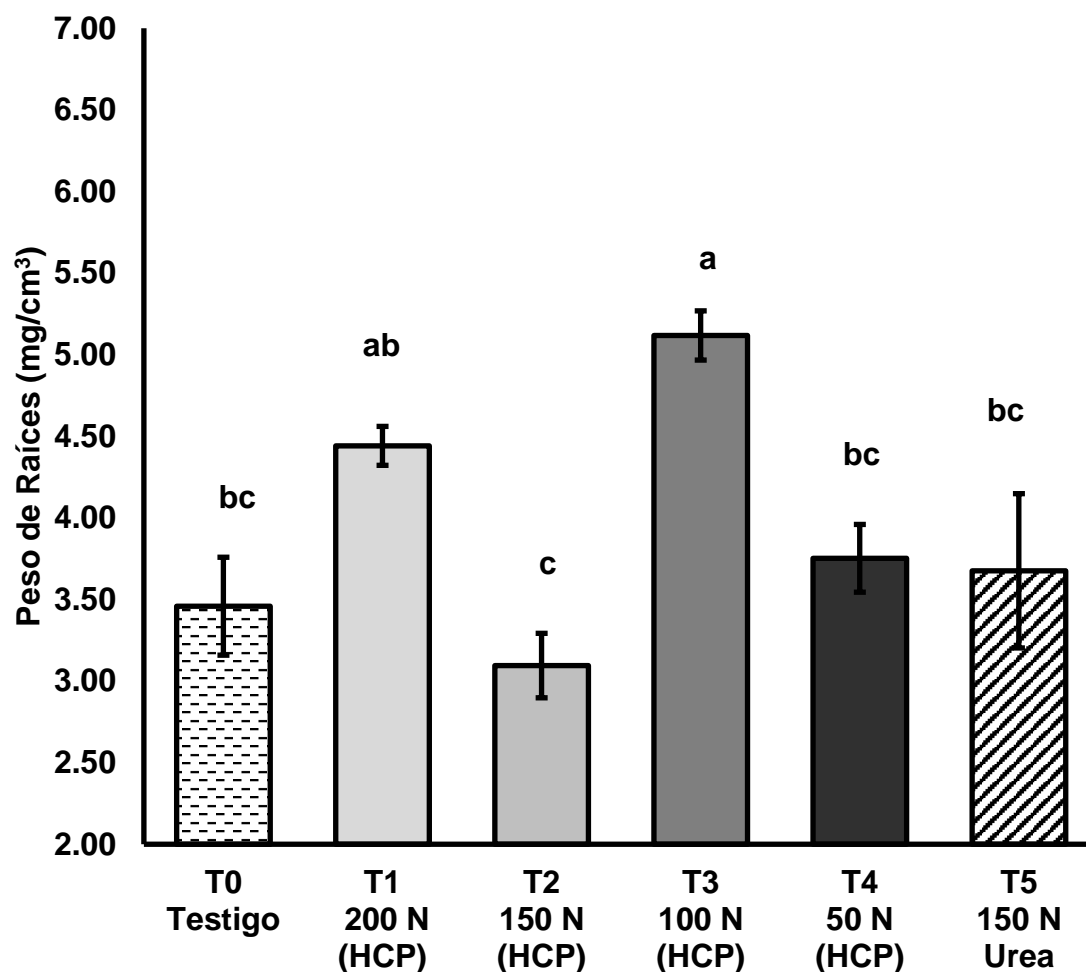


Figura 20. Media del peso de raíces laterales de los tratamientos en el mes de julio, 2019 en la parcela experimental de “Juan Bernito” Tarapoto. Barras que compartan la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Bonferroni (al 5% de probabilidades).

Para el mes de marzo - 2020 (Figura 21), en donde el tiempo transcurrido entre el establecimiento de la parcela y esta medición fue de 14 meses y con la totalidad de dosis aplicadas, se obtuvieron los siguientes valores: 4.17 (T0), 5.96 (T1), 5.48 (T2), 5.83 (T3), 6.40 (T4) y 3.83 (T5) mg/cm³. Esta figura evidencia diferencias significativas entre las medias de los tratamientos T0 y T1, T0 y T3, T0 y T4, T1 y T5, T3 y T5, T4 y T5, según la prueba de Bonferroni. Esto resalta el efecto significativo de las menores dosis de HCP en este indicador biométrico.

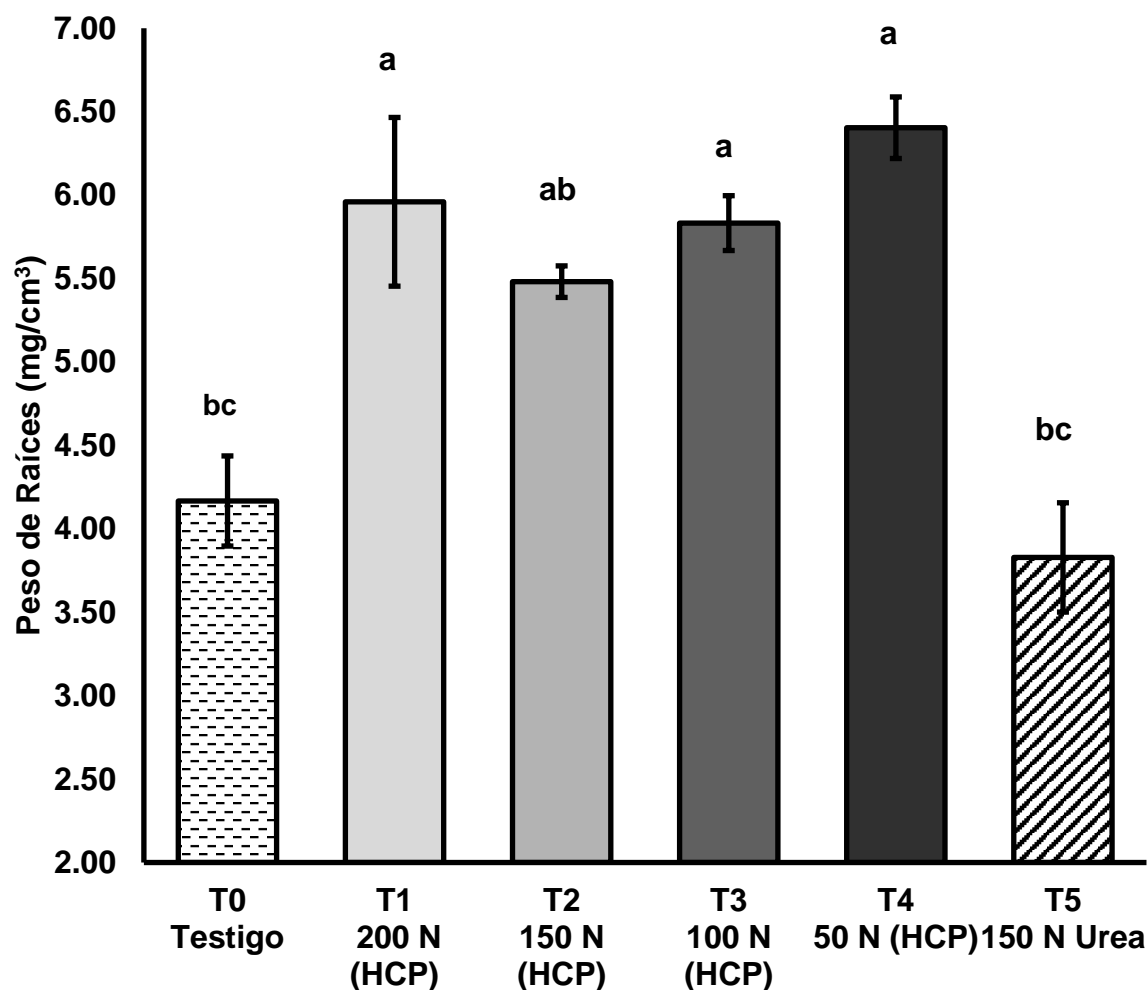


Figura 21. Media del peso de raíces laterales de los tratamientos en el mes de marzo, 2020 en la parcela experimental de “Juan Bernito” Tarapoto. Barras que compartan la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Bonferroni (al 5% de probabilidades).

8. Discusión

8.1 Análisis químico de la harina de cuernos y pezuña de ganado bovino

El porcentaje de 15% de nitrógeno de la HCP, utilizada en esta investigación (Tabla 4), es similar al obtenido por Documet (2015). Cuyos procesos de obtención fueron a través del tratamiento de i) cocción simple (15%) y ii) enzimático (15.24%). En adición, este valor es superior a lo indicado por (Aguirre y Alegre, 2015) puesto que, en su análisis químico tuvo como resultado 13.58%. Sin embargo, en la investigación de (Cayuela et al., 2010) se registra el valor de 17% para nitrógeno total, siendo el más alto registrado. Respecto al bajo contenido de fósforo (0.08%) y potasio (0.149%) se observan resultados similares en las investigaciones de (Documet, 2015; Aguirre & Alegre, 2015). Estos autores coinciden en la consideración y aplicación de fuentes adicionales de fósforo y potasio al momento de realizar un plan de fertilización que utilice la HCP como fuente principal de nitrógeno. En relación al pH, para este caso se obtuvo un valor de 5.93, lo cual lo clasifica como ligeramente ácido. Esta clasificación es similar a lo obtenido por (Documet, 2015; Aguirre & Alegre, 2015); en cambio, en la investigación realizada por Cayuela et al, (2010) el valor de este parámetro fue de 7.50, clasificándolo como neutro. Estas variaciones probablemente se deban a la i) genética y manejo del ganado y/o ii) a los parámetros de elaboración del mismo, en todo caso profundizar más en estos puntos.

8.2 Indicadores biométricos

Como preámbulo de esta sección, se debe resaltar que Tarapoto corresponde a la zona de vida de bosque húmedo Premontano Tropical (Anexo III) (Autoridad Regional Ambiental San Martín, 2019), la cual presenta, un ratio de evapotranspiración potencial de 0.5 a 1 (Aybar et al., 2017). Este parámetro bioclimático está determinado por la interrelación de la biotemperatura y precipitación del lugar, los cuales son condicionantes del ritmo e intensidad de procesos fisiológicos relacionados al rendimiento de las plantas.

8.2.1 Área de las hojas

Bajo las condiciones edafoclimáticas de esta parcela experimental (Tabla 5) y a lo largo de este experimento, se ha comprobado el efecto similar de la HCP con el de la urea (Aguirre, G., & Alegre, J., 2015; Documet, L., 2015) (Figura 12, 13, 14 y 15). Sin embargo, se observó algunas diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las distintas dosis de fertilización durante el mes de julio (Figura 12) y octubre (Figura 13). Por ejemplo, en el primer caso (Figura 12) el promedio más alto correspondió al T5 (72.5 g planta⁻¹ de urea), siendo significativamente superior al T3 (166.6 g planta⁻¹ de HCP) ($P = 0.003$). A pesar de esta diferencia significativa, los tratamientos 1 (332.5 g planta⁻¹), 2 (249.9 g planta⁻¹) y 4 (83.3 g planta⁻¹) de HCP no evidenciaron el mismo comportamiento con respecto al T5, incluyendo el testigo (T0), el cual no fue fertilizado con nitrógeno, pero sí con 47.7 g de fósforo y 32.5 g de potasio por planta. Como consecuencia, se estableció el siguiente orden T5>T4>T1>T0>T2>T3 cuyos valores fueron 219.76 cm², 202.18 cm², 186.42 cm², 184.cm², 178.13 cm² y 165.77 cm², respectivamente. Posiblemente estos resultados se fundamenten en i) el rol de agua y del níquel (Ni) en la hidrólisis de la urea, los cuales permite que su asimilación por la planta sea más rápida, ii) el tiempo requerido para que el nitrógeno comprendido en la HCP (NH₄⁺) se mineralice y la planta lo asimile y iii) el aporte de P y K a todos los tratamientos (Hartemink, A., 2005).

Respecto al punto i) se debe considerar lo que señala (Cameron et al., 2012) sobre la hidrólisis de la urea. Esta reacción se ve afectada, principalmente, por factores como la temperatura de la atmósfera y del suelo, así como la cantidad y frecuencia del agua proveniente de las precipitaciones y la humedad y pH del suelo. Durante este cambio químico, la enzima ureasa cumple la función de catalizador, sin embargo, para que esta se active es necesario la presencia de níquel (Ni) en el sistema suelo planta (Taiz, L., & Zeiger, E. 2006; Rodríguez-Jiménez et al., 2016).

Como primer producto se obtiene carbonato de amonio, el cual luego se disocia para producir amonio, amoníaco y iones de hidróxido, como se aprecia en la siguiente ecuación:



Respecto al punto ii) el azufre contenido en los aminoácidos presentes en la HCP es responsables del entrecruzamiento de los enlaces de proteínas, teniendo como consecuencia una reducción en su solubilidad y degradabilidad en agua, teniendo como valor 5 mg g^{-1} de nitrógeno soluble al agua (Tabla 1) (Cayuela et al., 2010). En relación al punto iii) hay evidencias que señalan que el 75 % del K aplicado, se libera en tres meses (van Vliet, J., & Giller, K, 2017). Este comportamiento es similar a lo señalado por (Puentes et al., 2013), ya que, en su investigación se determinó que la hoja de un definido clon de cacao absorbió los nutrientes en la siguiente escala $N > K > P$. Así mismo, (Rojas, E., & Ramirez, R., 2017) clasificaron los nutrientes acumulados en la hoja, de otro clon, en el siguiente orden $N = Ca > K > P > S$. De esto se puede deducir que, hay un punto en la que el efecto de la aplicación de nitrógeno, a través de abonos, en el crecimiento de la hoja tiende a perder importancia, puesto que, este proceso fisiológico está condicionado, también, por la disponibilidad y la asimilación del fósforo y potasio por parte de la planta (Taiz, L., & Zeiger, E., 2006).

En el mes de octubre (Figura 13) se observó un decrecimiento en las medias del 15% en el T0, 12% en el T5 y 6% en el T1; resultando en 157.15 cm^2 , 193.81 cm^2 y 174.52 cm^2 respectivamente. De acuerdo al análisis estadístico realizado, se observó diferencia significativa ($P = 0.003$) del T0 con el T4, cuyo promedio fue de 206.12 cm^2 . Estas disminuciones porcentuales en los promedios de los tratamientos 5 y 0, son en parte explicadas, por el efecto de la baja disponibilidad de agua en los meses de junio, julio y agosto cuyos valores promedios de precipitación fueron 71, 58.3 y 67.9 mm / mes respectivamente, categorizándolos como los menores valores de todo el año (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, 2020). De tal forma, en los meses con precipitaciones menores a los 100 mm se presenta déficit hídrico, lo que afecta la floración y brote de hojas (Romero, C., 2016). En adición, el tiempo estimado mínimo de vida útil de la hoja de esta planta es de 68 días en condiciones severas de estrés hídrico (Zuidema et al., 2005), por lo que probablemente este comportamiento se haya manifestado en los meses previos a esta medición. A pesar de esto, los promedios de los tratamientos 2, 3 y 4 aumentaron 10%, 8% y 2% (Figura 13) respectivamente, en comparación al mes de julio (Figura 12). Estos aumentos se deben, posiblemente, por la mineralización de la primera y segunda dosis de la HCP, ya que, el tiempo transcurrido entre la primera fertilización y esta medición (Figura 13) fue de 9 meses, a diferencia de la segunda; la cual fue de tres meses. En tal caso, una de las características de la HCP es el lento efecto fertilizante (Cayuela et al., 2010), razón por la cual, las plantas asimilaron el nitrógeno en el momento oportuno, luego de los meses con niveles de valores de precipitación poco adecuados para el desarrollo óptimo de esta planta. En adición el contenido total de materia orgánica de 98.9 % de la HCP (Tabla 4), probablemente haya tenido un efecto positivo en este proceso fisiológico, ya que, inicialmente el suelo

de la parcela experimental presentó un valor bajo de 1.86 % de materia orgánica (Tabla 5). De esto se puede inferir que, la aplicación de este abono orgánico no convencional tiene un efecto positivo en los componentes fundamentales de los ciclos biogeoquímicos del suelo, aun así, en épocas de poca precipitación. En tal caso, el aporte de HCP, probablemente haya mejorado la capacidad operar de la comunidad microbiana encargada del ciclo de nitrógeno, puesto que, como señalan (Cayuela et al., 2009; Pereg et al., 2018) el aporte de estos tiende a aumentar la población de microorganismos en comparación al sistema de manejo de la agricultura convencional.

A partir del mes de enero (Figura 14) no se evidenciaron diferencias significativas entre las dosis de los tratamientos hasta el final de la evaluación (Figura 15). Sin embargo, el promedio del T5 fue decreciendo en 3% (Figura 14) y 5% (Figura 15) en comparación a su punto más alto (Figura 12). Probablemente, esto corresponde al porcentaje de volatilización de los fertilizantes minerales, el cual es 11.5% del nitrógeno total bajo las siguientes características texturales de un suelo arenoso (75% arena, 23% limo y 2% arcilla) a diferencia del porcentaje de volatilización de la HCP, el cual fue de 5% del nitrógeno total en dicha investigación (Cayuela et al., 2010). Para este caso, los porcentajes de coloides presentes inicialmente en el suelo fueron los siguientes: 61.52% arena, 3.28% limo y 35.20% arcilla (Tabla 5). Esta distribución probablemente explique el comportamiento del tratamiento 5. Así mismo, el riesgo potencial de volatilización del amonio contenido en la urea oscila entre el 0% y 65% del nitrógeno aplicado (Cameron et al., 2012).

Por el contrario, los tratamientos 0,1, 2, 3 y 4 aumentaron 14%,18%, 20%, 17%, 1% (Figura 14) y 7%, 11%, 23%, 21% y 1% (Figura 15) correspondientemente; siendo el T4 (83.3 g planta⁻¹ de HCP) el que menor variabilidad presentó en sus medias en el tiempo transcurrido de acuerdo a sus coeficientes de variación 9.17 % (Figura 12), 9.48% (Figura 13), 8.06% (Figura 14) y 8.98% (Figura 15). En ese sentido, Puentes et al., (2014) concluyeron que la mayor eficiencia agronómica de nitrógeno y el mayor rendimiento de los determinados clones de cacao se lograron con las menores dosis de fertilización.

8.2.2 Contenido de clorofila

A pesar de que el contenido de clorofila está condicionado por la adaptación de los genotipos de cacao a las características edafoclimáticas de cada lugar (Ardisana et al., 2018), las evidencias establecen una correlación entre la variación de fotosíntesis, la conductancia estomática y el contenido de nitrógeno en las hojas (Daymond et al., 2011). Para el caso de esta investigación, el R²

nos indica, que la ecuación representa el 55% de la distribución de los datos; por lo cual no es una ecuación confiable (Figura 16).

A lo largo de esta investigación, se comprobó el efecto similar de la HCP con el de la urea (Figuras 17, 18 y 19). A pesar de esto, se observó diferencias significativas entre algunas dosis de los tratamientos para los meses de julio ($P < 0.0001$) (Figura 17) y enero ($P = 0.003$) (Figura 19). En la primera fecha (Figura 17), el valor más alto de contenido de clorofila perteneció al T5 (72.5 g planta⁻¹ de urea), siendo significativamente superior que el T0 (0 N) ($P < 0.0001$) y T1 (332.5 g planta⁻¹ de HCP) ($P = 0.0001$). Por otro lado, el T3 (166.6 g planta⁻¹ de HCP) evidenció diferencia significativa con el T1 ($P = 0.001$) y el T0 ($P < 0.0001$). Como consecuencia, se estableció el siguiente orden de promedios T5>T3>T4>T2>T1>T0 cuyos valores fueron 62.68, 60.62, 57.26, 51.33, 44.83 y 37.3 SPAD, respectivamente.

Respecto a los resultados del mes de julio (Figura 17), estos se basan probablemente en i) la falta de aporte de nitrógeno en las repeticiones pertenecientes al T0 y ii) la cantidad de HCP empleada en las repeticiones del T1. En este último punto, una de las características de la HCP es la baja solubilidad del nitrógeno al agua, el cual representa el 3% del nitrógeno total. Esta característica radica en el azufre contenido en los aminoácidos de este residuo orgánico animal (Cayuela et al., 2010; Documet, L., 2015). Esto nos indica que a mayor dosis de HCP, la planta no aprovecha eficientemente el nitrógeno durante los primeros meses de fertilización, reafirmando que con las menores dosis de fertilización (T5, T4 y T3) se consiguen resultados óptimos (Puentes et al., 2014).

En el mes de octubre (Figura 18) no hubo diferencias significativas a pesar de las variaciones porcentuales de los promedios. Para tal caso, los tratamientos 0, 1 y 2 aumentaron en un 6%, 22% y 1% y los tratamientos 3, 4 y 5 decrecieron en 17%, 11% y 23% con respecto a julio (Figura 17). La disminución de los promedios tal vez se fundamente en que en condiciones de baja precipitación y de un incremento en la incidencia de la luz en las plantas, estos no tienen la necesidad de producir una alta cantidad de clorofila (Medauar et al., 2018), este mecanismo se llama plasticidad fotosintética (Ardisana et al., 2018).

Para el mes de enero (Figura 19), las precipitaciones fueron aumentado al punto de que no solo se encontraron diferencias significativas ($P = 0.003$), si no, además los promedios de los tratamientos aumentaron porcentualmente en comparación a octubre (Figura 18). En ese sentido, los tratamientos 0, 1, 2, 3, 4 y 5 aumentaron 15%, 47%, 28%, 28%, 5% y 23% respectivamente. Como resultado se obtuvieron los siguientes valores 50.71 (T0), 80.30 (T1), 66.81 (T2),

64.59 (T3), 53.53 (T4) y 59.51 (T5) SPAD, evidenciando diferencias significativas del T1 con el T4 ($P = 0.001$) y con el T0 ($P = 0.0002$). Si bien, el T1 obtuvo el mayor valor, no fue diferentemente significativo que el T3 ($P = 0.026$), resaltando la eficiencia agronómica del nitrógeno con las menores dosis.

8.2.3 Peso de raíces laterales

Para este indicador se observaron diferencias significativas entre la HCP, el T5 y el testigo sin N (T0) tanto para el mes de julio ($P = 0.001$) (Figura 20) como en marzo ($P < 0.0001$) (Figura 21). Cabe resaltar que, las raíces laterales del cacao pueden desarrollarse de manera horizontal a 4.8 metros del fuste (Niether et al., 2019).

En el primer caso (Figura 20), el promedio más alto perteneció al T3 (166.6 g planta⁻¹ de HCP), cuyo valor fue de 5.12 mg/cm³. Esta cifra tuvo diferencias significativas con el T2 (249.9 g planta⁻¹ de HCP) ($P < 0.0001$), T0 ($P = 0.0003$), T5 (72.5 g planta⁻¹ de urea) ($P = 0.001$) y T4 (83.3 g planta⁻¹ de HCP) ($P = 0.002$). Puesto que, los valores de sus medias fueron de 3.09, 3.46, 3.68 y 3.75 mg/cm³, correspondientemente. Lo mismo se observó ($P = 0.002$) entre el T1 (332.5 g planta⁻¹) y T2 (249.9 g planta⁻¹) de HCP, los cuales tuvieron como promedio 4.44 y 3.09 mg/cm³ respectivamente. Debido a esto, se estableció el siguiente orden T3>T1>T4>T5>T0>T2.

Sin embargo, para el mes de marzo (Figura 21), no se evidenciaron diferencias significativas entre las dosis de HCP, cuyos valores fueron 6.40 (T4), 5.96 (T1), 5.83 (T3) y 5.48 mg/cm³ (T2). Estos valores aumentaron 71%, 34%, 14% y 77% en comparación al mes de julio (Figura 20), evidenciando diferencias significativas del T4 con el T5 y T0 ($P < 0.0001$); del T1 con el T5 ($P = 0.0001$) y el T0 ($P = 0.001$); del T3 con el T5 ($P = 0.0002$) y el T0 ($P = 0.001$); y, por último, el T2 con el T5 ($P = 0.001$). Esto se debe a que los valores del T5 y T0 fueron 3.83 y 4.17 mg/cm³, respectivamente.

La razón de estos resultados, probablemente sea el contenido de amonio en la HCP (Tabla 4). En ese sentido, los tejidos meristemáticos prefieren el nitrógeno como amonio (NH₄⁺) en lugar de nitrato, puesto que, implica un menor gasto de energía para la división celular. En adición, desde una perspectiva química de la solución suelo, los cationes minerales adsorbidos como el NH₄⁺ no se lixivian con facilidad generando una reserva de nutrientes para las raíces de la planta (Taiz, L., & Zeiger, E. 2006). De tal forma que, las raíces bajo fertilización orgánica (HCP), posiblemente, hayan fortalecido su sistema debido al proceso de intercambio catiónico (Tabla 5). Estos resultados son similares a los de (Niether et al., 2019) en la cual se estableció que, bajo las condiciones de ese

experimento, la producción total de raíces laterales del cacao fue 4 veces más alta en sistemas agroforestales y monocultivo orgánico que en monocultivo convencional.

9. Conclusión

El lento efecto fertilizante del abono orgánico no convencional de harina de cuerno y pezuña de ganado bovino demostró efectos significativos en el rendimiento del *Theobroma cacao*. Las evidencias indican que la cantidad y la forma del nitrógeno (NH_4^+) comprendido en la HCP afectaron positivamente los indicadores biométricos establecidos, destacándose en el contenido de clorofila y peso seco de raíces laterales, lo que resalta la funcionalidad de este insumo orgánico en dichos procesos fisiológicos. Las menores dosis de HCP ($166.6 \text{ g planta}^{-1}$ y $83.3 \text{ g planta}^{-1}$) demostraron un poder de fertilización similar a las mayores dosis del mismo abono orgánico y al del abono sintético de urea, tanto para contenido de clorofila y área de las hojas; para el peso de raíces laterales, aquellos que fueron fertilizados con HCP, evidenciaron un mayor desarrollo.

Desde una perspectiva económica (Anexo IV – Tabla 6), dentro del rubro de abonos orgánicos, la HCP representa la opción más barata de nitrógeno, ya que 1 kg de este elemento está valorizado en S/ 4.00, a diferencia del guano de isla, humus y compost cuyo costo por 1 kg de nitrógeno es de S/ 8.90, S/28.73 y S/ 24.00 respectivamente. No obstante, para el rubro de abonos sintéticos, la urea sigue siendo más barato, puesto que 1 kg de este elemento está valorizado en S/ 2.83 y el factor de costo logístico es 1:3 (Anexo IV – Tabla 8). A pesar de esto, se debe considerar el porcentaje de volatilización de fertilizantes nitrogenados al momento de desarrollar el plan de fertilización, ya que se podría incurrir en pérdidas económicas, por 100 kg de fertilizante, desde S/. 6.50 hasta S/. 84.00 para la urea y desde S/0.60 hasta S/ 3.00 para la HCP (Anexo IV - Tabla 7).

Recomendaciones

En primera instancia se recomienda continuar con el plan de fertilización de estos clones, por lo menos 2 años consecutivos, con la finalidad de evaluar el efecto en la producción de mazorcas. Por otro lado, se recomienda desarrollar una nueva línea de investigación empleando el abono orgánico no convencional de harina de cuernos y pezuña de ganado bovino (HCP) en procesos fisiológicos relacionados. En tal caso, evaluar el efecto de la HCP en el desarrollo vegetativo de plantas de cacao en dos escenarios distintos. El primero, sería en plántones distribuidos en viveros. Para este caso los indicadores biométricos podrían ser desarrollo de raíces y área foliar. Respecto al segundo escenario, se recomienda que se evalúen plantas jóvenes recién establecidas en campo, en tal sentido, los indicadores a evaluar serían clorofila total y desarrollo de raíces laterales.

En adición, también se recomienda evaluar el efecto de la HCP en los microorganismos del suelo y sus funciones dentro de los ciclos biogeoquímicos. En relación a los distintos porcentajes de nitrógeno que se encuentran en la HCP (13.58%, 15%, 15.24% y 17%) y las diferencias en el pH del mismo (5.93 y 7.50); se recomienda profundizar más en las causas de estas variaciones. Finalmente, realizar un análisis económico y social más profundo sobre la elaboración y beneficios de la HCP.

Referencia Bibliográfica

- Aguirre, G., & Alegre, J. (2015). Uso de fuentes no convencionales de nitrógeno en la fertilización del maíz (*Zea mays* L.), en Cañete (Perú). I: rendimiento y extracción de N, P Y K. *Ecología Aplicada*, 14 (2),158-161.
- Avila, A., Campos, M., Guharay, F., & Camacho, A. (2013). Aprendiendo e innovando sobre el cacao en sistemas agroforestales. Nicaragua. *Lutheran World Relief*, (1),16-18.
- Arévalo, E., Canto, M., Alegre, J., Loli, O., Julca, A., & Baligar, V. (2015). Changes in soil physical and chemical properties in long term improved natural and traditional agroforestry management system of cacao genotypes in peruvian amazon. Instituto de Cultivos Tropicales Perú. *PLoS ONE*, 10 (7), 1-29. doi:10.1371/journal.pone.0132147
- Ardisana, H., Torres, A., Téllez, O., Álava, J., Sancán, G., & Aguilar, R. (2018). Contenido de clorofila total en doce clones de cacao (*Theobroma cacao* L.). *La Técnica*, 11-18.
- Arthur, A., Afrifa, A., & Dogbatse, J. (2017). Assesment of soil fertility status of cocoa farms around the Ankasa National Park in the Jomoro District of the Wester Region of Ghana. *Soil Science Division, Cocoa Research Institute of Ghana*.
- Autoridad Regional Ambiental San Martín. (2019). *Zonas de vida del departamento de San Martín*. Recuperado el 23 de Febrero del 2021, de <http://siar.regionsanmartin.gob.pe/mapas/zonas-vida-departamento-san-martin>.
- Aybar-Camacho, C.; Lavado-Casimiro, W.; Sabino, E.; Ramírez, S.; Huerta, J. & Felipe-Obando, O. (2017). *Atlas de zonas de vida del Perú – Guía Explicativa*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Dirección de Hidrología.
- Barrientos, P. (2014). La cadena de valor del cacao en Perú y su oportunidad en el mercado mundial. Universidad de Medellín. *Semestre Económico*, 18 (37),129-156.
- Beer, J., Muschler, R., Kass, D., & Somarriba, E. (1998). Shade management in coffe and cacao plantations. *Agroforestry Systems*, 38, 139-164.
- Cameron, K., Di, H., & Moir, J. (2012). Nitrogen losses from the soil/plant system: a review. Centre for Soil and Environmental Research. *Annals of Applied Biology*, 145-173.

- Cayuela, M., Velthof, G., Mondini, C., Sinicco, T., & van Groenigen, J. (2010). Nitrous oxide and carbón dioxide emissions during initial decomposition of animal by-products applied as fertilisers to soils. *Geoderma*, 157, 235-242.
- Cayuela, M., Mondini, C., Insam, H., Sinicco, T., & Franke, I. (2009). Plant and animal wastes composting: Effects of the N source on process performance. *Bioresource Technology*, 100, 3097-3106.
- Coronado, F. (2015). Indicadores de productividad y competitividad regional relacionas al agro. *CENTRUM Católica*, 1-20.
- Crisólogo, R., Rodríguez, A., Guerrero, R., Cachique, D., Alva, E., Arévalo, L., & Loli, O. (2014). Absorción y concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en sacha inchi (*Plukenetia volubis* L.) en suelos ácidos. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. *Folia Amazónica*, 24, 123-130.
- Daymond, A., Tricker, P., & Hadley, P. (2011). Genotypic variation in photosynthesis is correlated with stomatal conductance and leaf nitrogen. *BIOLOGIA PLANTARUM*, 55 (1), 99-104.
- Direcciones Regionales de Agricultura. (2019). *Perú: Evolución de la población, saca, producción, rendimiento y precios recibidos por el productor, por especie y producto, 2007-19*. Perú: MINAGRI.
- Dirección General de Competitividad Agraria. (2009). *Superárboles de cacao Chuncho del Cusco*. Echarte-Cusco, Perú: MINAGRI: 11
- Documet, L. (2015). *Obtención de harina de cuernos y pezuñas de ganado bovino (bos taurus) y evaluación de su aplicación como abono orgánico*. (Tesis de magister scientiae en ciencias ambientales). Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Fechner, D., & Vazques, F. (2006). *Impacto ambiental desde el punto de vista físico-químico del efluente de un matadero sobre un cuerpo de agua superficial*. Universidad Nacional del Nordeste, 1-4.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2018). *FAOSTAT*. Recuperado el 23 de Junio del 2020 de, <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2017). *The future of the food and agriculture trends and challenges*, 1, 10.
- Franco, R., Oñatibia, A., & Martínez, E. (2013). Health Benefits of Methylxanthines in Cacao and Chocolate. *Nutrients*, 5, 4159-4173.

- García, L. (2010). *Catálogo de cultivares de cacao del Perú*. Lima, Perú: DEVIDA: 7,8
- Garzón, I. (2010). *Diagnóstico ambiental del camal municipal de la ciudad de Santo Domingo y mejora de su gestión*. Escuela Politecnica Nacional. Quito, Ecuador: 1-2
- Gonzales, F., & Apanu, J. (2017). *Situación sanitaria, tecnica y administrativa de los camales del departamento de Lambayeque, periodo 2016*. (Tesis de médico veterinario). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Gómez-Juaristi, M., González-Torres, L., Bravo, L., Vaquero, M. P., Bastida, S., & Sánchez-Muniz, F. J. (2011). *Efectos beneficiosos del chocolate en la salud cardiovascular*. *Nutrición Hospitalaria*, 26(2), 289-292. Recuperado en 23 de junio de 2020, de http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112011000200007&lng=es&tlng=es.
- Granada, D & Nogales, H. (2012). *Guía de buenas prácticas para cacao*. Ecuador: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. Agrocalidad.
- Hartemink, A. (2005). Nutrient Stocks, Nutrient Cycling, and Soil Changes in Cocoa Ecosystems: A Review. *Advances in Agronomy*, 86, 227–253.
- Higginbotham, E., & Taub, P. (2015). Cardiovascular Benefits of Dark Chocolate? *Curr Treat Options Cardio Med*, 1-12.
- Kida, K., Morimura, S., Noda, J., Nishida, Y., Imai, T., & Otagiri, M. (1995). Enzymatic Hydrolysis of the horn and hoof of cow and buffalo. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 80, 478 – 484.
- Linneo, C. (1753). *Species Plantarum* 2: 253.
- López, P., Ramírez, M., & Mendoza, A. (2011). *Paquete tecnológico Cacao (Theobroma cacao L.)*. Establecimiento y Mantenimiento. México: INIFAP: 3.
- Malmir, M., Tahmasbian, I., Xu, Z., Farrar, M., & Bai, S. (2019). Prediction of macronutrients in plant leaves using chemometric analysis and wavelenght selection. *Journal of Soils and Sediments*, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02418-z>.

- Medauar, C., Galvão, Í., Carvalho, L., & Silva, S. (2018). Spatial-temporal variability of leaf chlorophyll and its relationship with cocoa yield. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 22 (3), 164-169. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n3p164-169>
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2018). *Análisis de la cadena productiva del cacao, con enfoque en los pequeños productores de limitado acceso al mercado*. Lima, Perú: 8,34.
- Motamayor JC, Lachenaud P, da Silva e Mota JW, Loor R, Kuhn DN, et al. (2008) Geographic and Genetic Population Differentiation of the Amazonian Chocolate Tree (*Theobroma cacao* L). *PLoS ONE* 3(10): e3311. doi:10.1371/journal.pone.0003311.
- Montero, A., Sumba, E., & Salvador, S. (2013). *Productividad agrícola en el Ecuador. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca*. Quito, Ecuador.2-12
- Niether, W., Schneidewind, U., Fuchs, M., Schneider, M., & Armengot, L. (2019). Below and aboveground production in cocoa monocultures and agroforestry systems. *Science of the Total Environment*, 657, 558-567.
- Nolasco, C. (2018). *Influencia del vertido del efluente líquido del camal municipal de Nueva Cajamarca en el ecosistema acuático del canal Galindona*. (Tesis de ingeniero ambiental). Universidad Católica
- Noval, K., & Nickerson, W. (1958). Decomposition of native keratin by *Streptomyces fradiae*. *Institute of Microbiology*, 251–263.
- Orozco, M., & Thienhaus, S. (1997). Efecto de la gallinaza en plantaciones de cacao en desarrollo. *Agronomía Mesoamericana*, 8, 81-92.
- Owen, O., Rogers, D., & Winsor, G. (1950). The nitrogen status of soils, part I. the nitrification of some nitrogenous fertilizers. *Experimental and Research Station, Cheshunt, Herts*: 185-190.
- Pagaza, P. (2019). *Impacto de las exportaciones de cacao en grano en el crecimiento económico del Perú durante el periodo enero de 2008 a diciembre de 2016*. (Tesis de licenciatura en economía y negocios internacionales). Universidad San Ignacio de Loyola. 15.
- Paredes, M. (2003). *Manual de cultivo del cacao*. Perú: MINAGRI: 9-12.

- Pereg, L., Morugán-Coronado, A., McMillan, M., & García-Orenes, F. (2018). Restoration of nitrogen cycling community in grapevine soil by a decade of organic fertilization. *Soil & Tillage Research*, 179, 11-19. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.01.007>
- Piaszczyk, W., Blonska, E., & Lasota, J. (2017). Study on the effect of organic fertilizers on soil organic matter and enzyme activities of soil in forest nursery. *Soil Science Annual*, 68 (3), 125-131.
- Ponti, T., Rijk, B., & van Ittersum, M. (2012). The crop yield gap between organic and conventional agriculture. *Agricultural systems*, 108, 1-9.
- Puentes, Y., Menjivar, J., Gomez, A., & Aranzazu, F. (2014). *Absorción y distribución de nutrientes en clones de cacao y sus efectos en el rendimiento*. Colombia: UNAL y FEDECACAO: 145-152.
- Puentes, Y., Menjivar, J., Gomez, A., & Aranzazu, F. (2014). Eficiencias en el uso de nitrógeno, fósforo y potasio en clones de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Bioagro*, 26 (2), 99-106.
- Rodríguez-Jiménez, Teresita de Jesús, Ojeda-Barrios, Dámaris L., Blanco-Macías, Fidel, Valdez-Cepeda, Ricardo David, & Parra-Quezada, Rafael. (2016). Ureasa y níquel en la fisiología de las plantas. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 22(2), 69-82. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2014.11.051>
- Romero, C. (2016). *Estudio del Cacao en el Perú y el mundo*. Lima, Perú: MINAGRI: 6, 10, 23-25.
- Real Academia Española. (2014). *Diccionario de la Lengua Española* (23ª ed). Madrid: Espasa.
- Reynel, C., Pennington, T., & Pennington, R. (2016). *Árboles del Perú*. 398.
- Rojas, E., & Ramirez, R. (2017). *Acumulación y extracción de nutrientes en el cultivo del cacao (Theobroma cacao L.)*. Colombia. Universidad Nacional de Colombia.
- Sanchez, F., Parra, D., Gamboa, E., & Rincón, J. (2005). Rendimiento de una plantación comercial de cacao ante diferentes dosis de fertilización con NPK en el sureste del estado de Táchira, Venezuela. *Bioagro*, 119-122.
- Schuurman, J., & Goedewaagen, A. (1971). Methods for the examination of root systems and roots. *Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen*.

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2020). *Promedio de temperatura normal para Tarapoto*. Recuperado el 23 de Febrero del 2021, de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-detalle-turistico&localidad=0023&fbclid=IwAR0umWwpTHwIKf0xjwU8JV2c1azT48eramzxL1K0oHtLaK7XBL5kSZGAcxk>
- Sharma, S., & Gupta, A. (2016). Sustainable management of waste biomass: applications and future perspectives. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 59, 1-13.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M. & de Haan, C. (2006) *Livestock's long shadow: environmental issues and options*. Roma, Italia: FAO: 21
- Suarez, J., Melgarejo, L., Durán, E., Di Rienzo, J., & Casanoves, F. (2018). Non-destructive estimation of the leaf weight and leaf área in cacao (*Theobroma cacao* L.). *Scientia Horticulturae*, 229, 19-24. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.050>
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Fisiología vegetal*. Universidad de California, (Vols.1-2): 5, 118, 127,637-639, 690.
- Trade Map. (2018). *Lista de los importadores para el producto seleccionado, Producto: 1801 Cacao en grano, entero o partido, crudo o tostado*. Recuperado el 22 de Junio del 2020, de https://www.trademap.org/Country_SelProduct_TS.aspx?nvpm=3%7c%7c%7c%7c1801%7c%7c%7c4%7c1%7c1%7c2%7c1%7c2%7c2%7c1%7c1
- Trade Map. (2018). *Lista de los mercados importadores para un producto exportado por Perú, Producto: 1801 Cacao en grano, entero o partido, crudo o tostado*. Recuperado el 22 de Junio del 2020, de https://www.trademap.org/Country_SelProductCountry_TS.aspx?nvpm=3%7c604%7c%7c%7c%7c1801%7c%7c%7c4%7c1%7c1%7c2%7c2%7c1%7c2%7c5%7c1%7c1.
- Trinidad, S. (1987). *Abonos orgánicos*. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 1-8.
- Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. Recuperado el 30 de Junio del 2017, de <http://www.tropicos.org/Name/30400642>.
- Uribe, A., Méndez, H., & Mantilla, J. (1998). *Efecto de niveles de nitrógeno, fosforo y potasio sobre la producción de cacao en suelo del Departamento de Santander*. Colombia: IPNI: 1-4.

van Vliet, J., & Giller, K. (2017). Mineral Nutrition of Cocoa: A Review. *Advances in Agronomy*, 141 (211), 217,226.

Zarrilo, S., et al. (2018). The use and domestication of *Theobroma cacao* during the mid-Holocene in the upper Amazon. *Nature Ecology & Evolution*.

Zuidema, P., Leffelaar, P., Gerritsma, W., Mommer, L., & Anten, Niels. (2005). A physiological production model for cocoa (*Theobroma cacao*): model presentation, validation and application. *Agricultural Systems*, 84, 195-225.

ANEXO I

24 de septiembre del 2018.
Área de Fertilidad de Suelos – UNALM



7 de noviembre del 2018
Planta de Industrias Alimentaria - UNALM



20 de diciembre del 2018



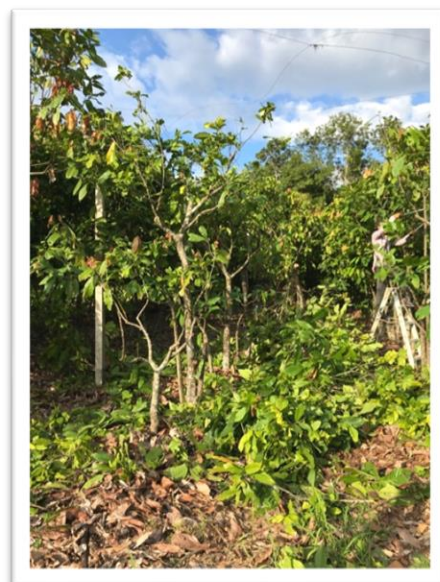
ANEXO II

27 de diciembre 2018

Parcela Experimental – Instituto de Cultivos Tropicales, Tarapoto – San Martín



28 de diciembre 2018
Poda drástica



30 de diciembre de 2018



3 de enero 2019
Estado de la parcela luego de la poda drástica



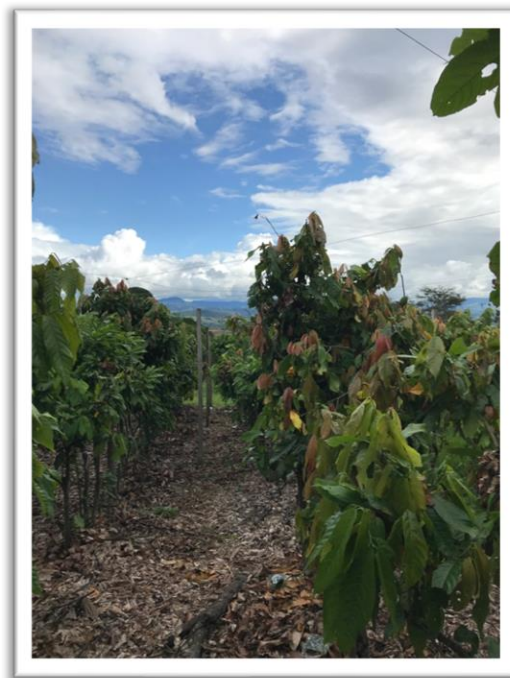
5 de julio 2019



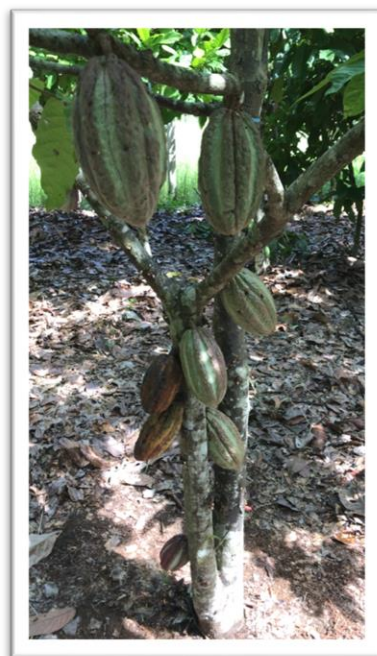
5 de julio 2019



6 de julio 2019

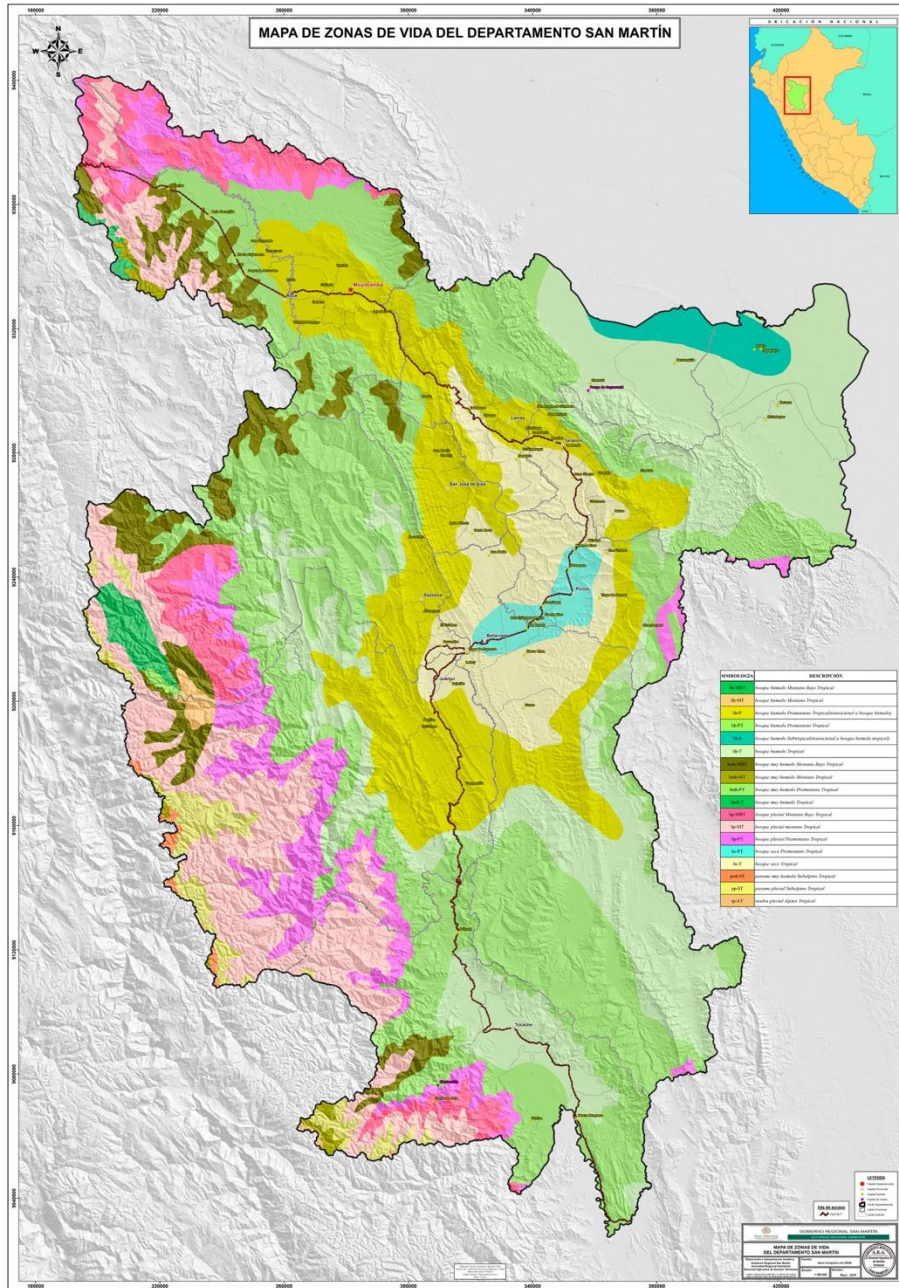


14 de marzo 2020



Anexo III

Mapa de zonas de vida del departamento de San Martín



Fuente: Autoridad Regional Ambiental San Martín, 2019.

Anexo IV

Análisis de Costos

Tabla 6

Comparación de costos por 1 kg de nitrógeno de distintos abonos orgánicos y sintéticos en el mercado peruano sin costos de logística

Fertilizantes	Grado de fertilizante de nitrógeno	Costo por 100 kg del fertilizante	Costo por 1 kg de nitrógeno
HCP	15%	S/. 60.00	S/. 4.00
Guano de isla	12.78%	S/. 113.74	S/. 8.90
Humus	1.74%	S/. 49.90	S/. 28.73
Compost	2.47%	S/. 59.28	S/. 24.00
Urea	46%	S/. 130.00	S/. 2.86
Nitrato de amonio	34%	S/. 135.00	S/. 3.97

Fuente: Elaboración propia

Dentro del rubro de abonos orgánicos, la HCP representa la opción más barata de nitrógeno, ya que 1 kg de este elemento está valorizado en S/. 4.00, a diferencia del guano de isla, humus y compost cuyo costo por 1 kg de nitrógeno es de S/. 8.90, S/. 28.73 y S/. 24.00 respectivamente. No obstante, para el rubro de abonos sintéticos, la urea sigue siendo más barato, puesto que 1 kg de este elemento está valorizado en S/ 2.86, seguido del nitrato de amonio, con un valor de S/. 3.97. El costo por 100 kg de cada fertilizante puede variar según el proveedor y la localidad. Para este caso se consideró precios de Lima, Perú. En todo caso se recomienda desarrollar un estudio de mercado para ser más preciso en el análisis financiero.

Tabla 7

Comparación del porcentaje potencial de volatilización de distintos fertilizantes nitrogenados y la pérdida en volumen por hectárea de nitrógeno y económico que conlleva

Escenario	Fertilizantes nitrogenados	Textura del suelo	Densidad de plantas ha ⁻¹	Nivel de conocimiento del operador	% de volatilización potencial del nitrógeno total	Pérdida de kg de nitrógeno ha ⁻¹	Pérdida monetaria de kg de nitrógeno en 100 kg de fertilizante	Volumen efectivo de kg de nitrógeno ha ⁻¹
A	HCP	Arenoso	Baja	Bajo	5%	0.75 kg	S/. 3.00	14.25 kg
	Urea	Arenoso	Baja	Bajo	65%	29.90 kg	S/. 84.00	16.10 kg
	Nitrato de amonio	Arenoso	Baja	Bajo	11.5%	3.85 kg	S/. 13.80	29.65 kg
B	HCP	Franco - arcilloso	Alta	Alto	1%	0.15 kg	S/. 0.60	14.85 kg
	Urea	Franco – arcilloso	Alta	Alto	5%	2.3 kg	S/. 6.50	43.7 kg
	Nitrato de amonio	Franco – arcilloso	Alta	Alto	3%	1.01 kg	S/. 3.60	32.5 kg

Fuente: Elaboración propia

Para la determinación del porcentaje potencial de volatilización, se consideraron lo que mencionan los autores (Cayuela et al., 2010 y Cameron et al., 2012). En tal caso dichos parámetros están sujetos a variables como la textura del suelo y la densidad de plantas. Para efectos de este análisis (Tabla 7), se estableció dos escenarios distintos (A) y (B) considerando la i) fuente de nitrógeno, ii) textura del suelo, iii) la densidad de plantas y iv) el nivel de conocimiento del operador. Cabe resaltar que esta pérdida de nitrógeno sucede en los primeros 10 días.

El primer escenario (A) contempla las condiciones óptimas para que el proceso de volatilización genere el máximo de pérdidas para los fertilizantes de HCP, urea y nitrato de amonio, cuyos valores máximos son 5%, 65% y 11.5% respectivamente. Estos valores se generan cuando la textura del suelo carece de coloides con capacidad de adsorción media - alta (capacidad de intercambio catiónico) como la arcilla o limo, así como, una baja densidad de plantas ha^{-1} , las cuales son responsables de asimilar el nitrógeno en el sistema suelo – planta y por último el nivel de conocimiento del operador de la unidad productiva. Para este caso, las pérdidas en kg de nitrógeno ha^{-1} serían: 0.75 kg (HCP), 29.90 kg (urea) y 3.85 kg (nitrato de amonio), los cuales se traducen en pérdidas económicas, por 100 kg fertilizante, de S/. 3.00, S/. 84.00 y S/. 13.80 respectivamente.

En relación al escenario (B), se describe condiciones desfavorables para el proceso de volatilización de la HCP, urea y nitrato de amonio, cuyos valores serían 1%, 5% y 3% respectivamente. Estos valores se fundamentan en la capacidad de adsorción de los coloides presentes en un suelo con textura franco-arcillosa, en la alta densidad de plantas ha^{-1} y el alto conocimiento del operador. De tal forma que, las pérdidas en kg de nitrógeno ha^{-1} serían: 0.15 kg (HCP), 2.3 kg (urea) y 1.01 kg (nitrato de amonio), los cuales se traducen en pérdidas económicas, por 100 kg de fertilizante, de S/. 0.60, S/. 6.50 y S/. 3.60 correspondientemente.

Tabla 8

Comparación de costos de logística para un volumen de 1 tonelada compuesta de sacos de 50 kg de cada fertilizante indicado

Fertilizantes (A)	Ratio	Transporte Aéreo nacional S/		Transporte Terrestre nacional S/	
		(A)	HCP	(A)	HCP
Guano de isla: HCP	1:1	S/. 2,637.00	S/. 2,637.00	S/. 2265.20	S/. 2265.20
Humus: HCP	15:1	S/. 31,575.00	S/. 2,637.00	S/. 18,975.60	S/. 2265.20
Compost: HCP	6:1	S/. 12,972.00	S/. 2,637.00	S/. 8,530.40	S/. 2265.20
Urea: HCP	1:3	S/. 2,637.00	S/. 6,771.00	S/. 2,265.20	S/. 4,265.20
Nitrato de amonio: HCP	1:2.2	S/. 2,637.00	S/. 5,117.40	S/. 2265.20	S/. 3,465.20

Fuente: Elaboración propia

Para los costos de transporte vía área se ha considerado el trayecto al aeropuerto, los estibadores y las bolsas; para el terrestre, se consideró el alquiler del camión y/o camiones, combustible, estibadores y bolsas. En adición, el coeficiente de ratio corresponde a la misma cantidad de nitrógeno en diferentes fertilizantes, la misma que se manifiesta en volumen. Por ejemplo, para que la HCP iguale al grado de fertilización de 1 saco de 50 kg de Urea, necesito 3 sacos de 50 kg de HCP, cuyo ratio seria 1:3.