

POTENCIAL AGROINDUSTRIAL DEL FRIJOL CAUPÍ:

Caracterización bromatológica y obtención de pulpa papelera de frijol caupí (*Vigna unguiculata*) cultivado en suelos degradados usando biocarbón tratado en biol de estiércol vacuno en San Francisco-Yarinacocha



Ronald Marlon Lozano Reátegui
Vitelio Asencios Tarazona
Ulises Lozano Reátegui

POTENCIAL AGROINDUSTRIAL DEL FRIJOL CAUPÍ:

Caracterización bromatológica y obtención de pulpa papelera de frijol caupí (*Vigna unguiculata*) cultivado en suelos degradados usando biocarbón tratado en biol de estiércol vacuno en San Francisco-Yarinacocha



Ronald Marlon Lozano Reátegui
Vitelio Asencios Tarazona
Ulises Lozano Reátegui

Editora chefe	
Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira	
Editora executiva	
Natalia Oliveira	
Assistente editorial	
Flávia Roberta Barão	
Bibliotecária	
Janaina Ramos	2023 by Atena Editora
Projeto gráfico	Copyright © Atena Editora
Camila Alves de Cremo	Copyright do texto © 2023 Os autores
Luiza Alves Batista	Copyright da edição © 2023 Atena
Nataly Evilin Gayde	Editora
Imagens da capa	Direitos para esta edição cedidos à
iStock	Atena Editora pelos autores.
Edição de arte	Open access publication by Atena
Luiza Alves Batista	Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo do texto e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Os manuscritos nacionais foram previamente submetidos à avaliação cega por pares, realizada pelos membros do Conselho Editorial desta editora, enquanto os manuscritos internacionais foram avaliados por pares externos. Ambos foram aprovados para publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial
Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano

Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras

Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Universidade do Estado de Mato Grosso

- Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof^a Dr^a Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^a Dr^a Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Edevaldo de Castro Monteiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Prof^a Dr^a Gislene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof^a Dr^a Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Prof^a Dr^a Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof^a Dr^a Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Caracterización bromatológica y obtención de pulpa papelera de frijol caupí (*Vigna unguiculata*) cultivado con biocarbón tratado en biol vacuno en San Francisco-Yarinacocha

Diagramação: Letícia Alves Vitral
Correção: Maara Ferreira
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Autores: Ronald Marlon Lozano Reátegui
Vitelio Asencios Tarazona
Ulises Lozano Reátegui

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
R288	Reátegui, Ronald Marlon Lozano Caracterización bromatológica y obtención de pulpa papelera de frijol caupí (<i>Vigna unguiculata</i>) cultivado con biocarbón tratado en biol vacuno en San Francisco- Yarinacocha / Ronald Marlon Lozano Reátegui, Vitelio Asencios Tarazona, Ulises Lozano Reátegui. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2023. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-1349-3 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.493230205 1. Proteínas. 2. Lípidos. 3. Suelo. I. Reátegui, Ronald Marlon Lozano. II. Tarazona, Vitelio Asencios. III. Reátegui, Ulises Lozano. IV. Título.
CDD 613.282	
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao conteúdo publicado; 2. Declararam que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que o texto publicado está completamente isento de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de e-commerce, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

RESUMEN

La problemática ambiental en la región Ucayali, tiene al aumento de suelos degradados, el incremento de residuos sólidos como cuescos de la industria de la palma aceitera y material lignocelulósico de cultivos de pan llevar, así como la proliferación de estiércol vacuno en granjas, como problemas ambientales que van avanzando en la región. La recuperación de suelos mediante enmiendas agrícolas como el biocarbón enriquecido con nutrientes de biol vacuno, para sembrar leguminosas de alto valor nutricional y aprovechar sus cáscaras, orientó la presente investigación con la finalidad de caracterizar bromatológicamente y obtener pulpa papelera de vainas de frijol caupí (*Vigna unguiculata*) cultivado en suelos degradados usando biocarbón tratado en biol de estiércol vacuno en San Francisco-Yarinacocha. Para ello se realizó la fermentación anaeróbica del estiércol vacuno por 63 días; también la pirólisis de los cuescos de palma aceitera en carbonizadores estilo abierto PhilRice, ya frío el biocarbón, fue molido, tratado mediante inmersión en biol de vacaza, dejado en reposo por dos días. Luego se llevó al terreno que se dividió en 2 parcelas: P₁, la parcela testigo y P₂ la que recibió biocarbón en dosis de 10 t h⁻¹, homogenizándose en el suelo, dejando cinco días de reposo para la adaptación del consorcio microbiano al suelo. Luego se sembró el frijol caupí, y después de 100 días fue cosechado. Los resultados del análisis bromatológico mostraron para el frijol cultivado en P₂ una superioridad en el contenido de proteínas y levemente en las cenizas, los aceites y grasas y mayor rendimiento de pulpa papelera con respecto a P1. Luego las vainas ya secas, fueron cortadas en trozos de 1 a 1,5 cm de longitud, y mediante un Diseño Completamente al Azar-DCA, fueron sometidas a digestión alcalina con NaOH en dosis de 10, 20 y 30%, con una relación de materia prima:solución de 1:20, por 0,5 h, para luego ser lavadas hasta neutralidad, luego blanqueadas en hipoclorito de Na al 10% por 24 h, lavadas y batidas por 1 min a, esparcidas sobre un marco de madera con tela organza, que luego de secadas al ambiente por 4 días, fueron pesadas y los resultados sometidos al análisis de varianza, cuyos resultados no mostraron significancia a un p-valor mayor 0,05 ($p>0,05$) y un nivel de confianza del 95%, es decir no hubo relación estadística entre el peso de la pulpa papelera y el tipo de parcela donde se cultivó el frijol caupí de donde se obtuvieron las vainas, determinándose un rendimiento de pulpa papelera en promedio para P₁ y P₂ del 31%.

PALABRAS CLAVE: Proteínas, lípidos, celulosa, hidrólisis alcalina, biol, suelo degradado, pirólisis.

ABSTRACT

The environmental problem in the Ucayali region has the increase in degraded soils, the increase in solid waste such as shells from the oil palm industry and lignocellulosic material from bread crops, as well as the proliferation of cattle manure on farms, as problems environmental issues that are advancing in the region. The recovery of soils through agricultural amendments such as biochar enriched with nutrients from bovine biol, to plant legumes of high nutritional value and take advantage of their shells, guided this research with the purpose of bromatologically characterizing and obtaining paper pulp from cowpea pods (*Vigna unguiculata*) grown on degraded soils using biochar treated in cow manure biol in San Francisco-Yarinacocha. For this, the anaerobic fermentation of the cattle manure was carried out for 63 days; also the pyrolysis of the oil palm shells in PhilRice open-style carbonizers, once the biochar was cold, it was ground, treated by immersion in vacaza biol, left to rest for two days. Then it was taken to the land that was divided into 2 plots: P1 the control plot and P2 the one that received biochar in doses of 10 t h^{-1} , homogenizing in the soil, leaving five days of rest for the adaptation of the microbial consortium to the soil. Cowpea beans were then planted, and after 100 days they were harvested. The results of the bromatological analysis showed for the beans grown in P₂ a superiority in protein content and slightly in ashes, oils and fats and a higher yield of paper pulp with respect to P₁. Then the pods, already dry, were cut into pieces of 1 to 1.5 cm in length, subjected to alkaline digestion with NaOH in doses of 10, 20 and 30%, with a ratio of raw material:solution of 1:20, for 0.5 h, to then be washed until neutral, then bleached in 10% Na hypochlorite for 24 h, washed and beaten for 1 min, spread on a wooden frame with organza fabric, which after being dried in the environment by 4 days, they were weighed and the results submitted to the analysis of variance, whose results did not show significance at a p-value greater than 0.05 ($p>0.05$) and a confidence level of 95%, that is, there was no statistical relationship between the weight of the paper pulp and the type of plot where the cowpea was grown from which the pods were obtained, determining an average paper pulp yield for P₁ and P₂ of 31%.

KEYWORDS: Proteins, lipids, cellulose, alkaline hydrolysis, biol, degraded soil, pyrolysis.

SUMÁRIO

CONTENIDO	1
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS.....	2
General	2
Específicos	2
REVISIÓN DE LITERATURA.....	2
MÉTODO	9
Lugar de ejecución	9
Materiales, equipos, reactivos, cultivo microbiano y herbicidas	10
Metodología.....	10
RESULTADOS Y DISCUSIONES	16
ANÁLISIS Y PREPARACIÓN DEL SUELO	16
ANÁLISIS DE CUECOS DE PALMA ACEITERA.....	18
PARÁMETROS DE FABRICACIÓN DEL BIOCARBON.....	20
ELABORACIÓN Y ANÁLISIS DEL BIOL	20
ANÁLISIS FISICO-QUÍMICOS DEL BIOCARBÓN ANTES Y LUEGO DEL TRATAMIENTO CON BIOL DE VACAZA.....	25
INTERVENCIÓN DE LA P ₂ CON BIOCARBÓN ENRIQUECIDO Y ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS.....	26
ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DEL FRIJOL CAUPÍ DE P ₁ Y P ₂	29
PARÁMETROS DE EXTRACCIÓN Y RENDIMIENTO DE PULPA PAPELERA DE VAINAS DEL FRIJOL CAUPÍ	33
Análisis de Varianza (ANOVA) de los pesos en g de la pulpa papelera.....	37
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	40
CONCLUSIONES	40
RECOMENDACIONES	41
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
ANEXOS.....	53
SOBRE LOS AUTORES	56

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

El presente estudio, busca mediante tecnologías accesibles y de fácil operación, utilizar residuos de la actividad agroindustrial como la extracción de aceite crudo de palma, y cuyos residuos sólidos, como las cáscaras de las semillas conocidos como cuescos, que se utilizan como agregado al suelo para mejorar la transitabilidad de las vías de acceso y desplazamiento al interior de la empresa, y por consiguiente, son foco de contaminación ambiental, pueden mediante pirólisis, en un equipo denominado Carbonizador de estilo abierto PhilRice, ser convertidos en biocarbón, el cual antes de ser incorporado al suelo degradado, será activado o madurado en un té de estiércol de ganado vacuno, elaborado mediante fermentación anaeróbica, previo agregado de algunos insumos también considerados como residuos (suero de queso, cenizas, restos de mazato o melaza y agua) con incorporación de un consorcio bacteriano láctico (Biolac) por diez (10) días.

La efectividad de esta tecnología, ya ha sido experimentada por Lozano *et al.* (2018), que trabajó el proyecto Uso de biocarbón de cáscaras de semilla de palma aceitera enriquecido en té de estiércol para mejorar suelos sobrepastoreados-Ucayali 2016, donde mostró resultados alentadores en cuanto al mejoramiento de las características agrícolas de suelos degradados y cuya efectividad fue comprobada en el cultivo del maíz, variedad INIA 616, con rendimientos satisfactorios para este tipo de cultivo.

Podemos agregar a lo descrito, el problema de la degradación de los suelos, muchas veces por prácticas agrícolas inadecuadas, desde hace más de 20 años, tiene preocupados a los edafólogos, haciendo hincapié que la degradación de los suelos se debe a la actividad antropogénica y específicamente que es un deterioro silencioso de las propiedades físico-químicas del suelo, lo que está llevado a la pérdida de la agroproductividad de los mismos (Hernández *et al.*, 2013).

Considerando que se aprovechará residuos contaminantes, tecnologías accesibles para los beneficiarios del proyecto, con la finalidad de mejorar los suelos degradados, mediante el cultivo de frijol caupí (*Vigna unguiculata*) contando para ello con la participación activa de los pobladores interesados, lo cual asegurará la sostenibilidad del proyecto, además que generará conocimientos importantes en la temática, consideramos de suma importancia y justificable la presente investigación.

OBJETIVOS

General

Caracterizar bromatológicamente las semillas y determinar los parámetros para obtener pulpa papelera de frijol caupí (*Vigna unguiculata*) cultivado en suelos degradados usando biocarbón tratado en biol de estiércol vacuno en San Francisco-Yarinacocha.

Específicos

- Caracterizar físico-químicamente y determinar los elementos fertilizantes del suelo degradado de la comunidad Nativa de San Francisco.
- Caracterizar físico-químicamente los cuescos de palma aceitera.
- Determinar los parámetros del proceso de carbonización mediante la técnica del PhilRice para fabricar biocarbón.
- Caracterizar físico-químicamente el biol de estiércol vacuno.
- Caracterizar físico-químicamente el biocarbón antes y después de ser tratado en biol de estiércol vacuno.
- Caracterizar físico-químicamente y determinar los elementos fertilizantes de los suelos degradados de la comunidad Nativa de San Francisco después de la incorporación de biocarbón tratado en biol de estiércol vacuno.
- Caracterizar bromatológicamente las semillas de frijol caupí cultivado en suelos degradados no tratados y tratados con biocarbón con biol de estiércol vacuno.
- Determinar los parámetros del proceso de obtención y rendimiento de pulpa papelera a partir de las cáscaras del frijol caupí.

REVISIÓN DE LITERATURA

En la temática de la fabricación de biocarbón y su uso en agricultura, a nivel internacional se puede mencionar:

En Ecuador Iglesias *et al.* (2018), trabajaron en El rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) mejora con el uso del biochar de eucalipto (*Eucalyptus globulus*), investigación que partió de la problemática de la acumulación de biomasa producto del empleo inadecuado de los sistemas integrados de ambas especies vegetales, en la región austral del Ecuador, que generaba contaminación y desperdicios, planteándose como objetivo aprovechar la biomasa residual del eucalipto, transformada a biochar, para la siembra del maíz y propiciar el aumento del rendimiento, para ello, realizaron el cultivo en coordinación con el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias del Ecuador (INIAP). Fabricaron el biocarbón mediante dos tipos de pirólisis y dos clases de biomasa. Emplearon un diseño experimental

de bloque completo al azar con el cual asignaron un control sin aplicación de biocarbón y un tratamiento fertilizado, empleando semilla probada de maíz de la variedad “INIAPI 103 Mishqui sara”. Las variables del rendimiento evaluadas fueron: peso de grano seco, índice de área foliar, peso en materia seca de biomasa, contenido de (N-P-K) y proteína en grano. De acuerdo a las condiciones estudiadas encontraron determinaron tendencias de incrementos en los rendimientos y proteína del grano del maíz con el biochar de eucalipto, así como otras características fenológicas de crecimiento y esperan que el carbón de estos residuos, tenga mejores resultados a mediano y largo plazo para posteriores cultivos.

En el mismo país, Valarezo *et al.* (2017), desarrollaron la investigación Respuesta del pachaco (*Schizolobium parahybum* vell. conc) y la melina (*Gmelina arborea* roxb.) a la aplicación de biocarbón y fertilización en el sur de la Amazonia Ecuatoriana, para la cual instalaron dos experimentos en suelos del ambiente de ladera degradados por la ganadería bovina en el sur de la Amazonia Ecuatoriana (La Victoria – Zamora, Typic Kandihumults, formado de granodiorita; y, Los Zapotes – Panguintza, Typic Kandiudults, formado de andesita y brechas tobáceas). Cada experimento tuvo 12 tratamientos que se derivaron de la combinación de las dos especies arbóreas de rápido crecimiento, con aplicación de dos niveles de fertilización y cal (sin y con N 200, P 150, K 200, Mg 118, S 183 y Zn 40 kg/ha + CaCO₃, 5 y 3 t ha⁻¹ en La Victoria y Los Zapotes, respectivamente) y tres niveles de biocarbón (0,0; 3,0 y 6,0 t ha⁻¹), los cuales se arreglaron en un diseño de parcelas sub –sub divididas (2x2x3), con cuatro repeticiones. Cada sub – sub parcela presentó 16 árboles plantados a 3 x 3 m. En los dos experimentos, en todas las fechas de registro hasta los dos años, se encontraron diferencias altamente significativas por efecto de la fertilización + cal para: altura de planta, diámetro basal y diámetro a la altura del pecho. El crecimiento y la acumulación de biomasa de melina superó al pachaco en los dos sitios. El mayor crecimiento en altura de las dos especies en Los Zapotes se atribuye a mejores condiciones de fertilidad del suelo que en La Victoria. En los dos experimentos el tiempo de corte para pulpa fue de dos años con la aplicación de cal y nutrientes, en comparación a seis años que se reportan para otras localidades.

En El Salvador, Hernández y Martínez (2016), en la tesis Determinación del análisis bromatológico proximal y calidad culinaria de *Phaseolus vulgaris* L. (frijol común) grano negro criollo cultivado en la zona occidental de El Salvador, determinaron cenizas, humedad, proteína cruda, fibra cruda, extracto étereo, extracto libre de nitrógeno y minerales de importancia tales como: hierro, calcio, magnesio y zinc. Las variedades fueron Cuarentín, Tamazulapa y El Porvenir y valores respectivos obtenidos fueron de 8,24; 11,19 y 9,75 para % humedad; 25,51; 21,70 y 26,08 para % de proteína cruda; 2,22; 1,20 y 1,86 para % de extracto etéreo; 3,92; 3,99 y 3,60 para % fibra cruda; 6,74; 7,49 y 6,94 para % de ceniza;

60,36; 64,65 y 60,01 para % de extracto libre de nitrógeno; 8,09; 7,90 y 7,56 mg/100 g para Fe; 215,95; 211,37 y 115,68 mg/100 g para Ca; 181,10; 181,32 y 151,55 mg/100 g para Mg, y, 3,21; 3,38 y 3,77 mg/100 g para Zn.

En Ecuador Conde y Delgado (2015), trabajaron la tesis Efecto de la fertilización y del biocarbón en el almacenamiento del carbono en las especies maderables de melina (*Gmelina arborea*) y pachaco *Schizolobium parahybum*, en la zona sur de la amazonía ecuatoriana, con el objetivo general de generar alternativas para la repoblación forestal productiva de las áreas degradadas, en el marco de una gestión sostenida de la fertilidad de los suelos, producidas por la conversión de bosques naturales a pastizales; evaluando para ello las condiciones químicas, disponibilidad de nutrientes y almacenamiento de C en dos suelos representativos del Sur de la Amazonía Ecuatoriana, desarrollados sobre granodiorita en Zamora y andesita en el sector de Pangintza; donde instalaron dos experimentos diseñados en parcelas subdivididas (2x2x3) para determinar el efecto del carbón vegetal (0, 3, y 6 t ha⁻¹), cal (5 t ha⁻¹) y nutrientes (N; P; K; Mg y Zn), sobre el crecimiento inicial de las especies mencionadas líneas arriba. Tras 44 meses de monitoreo, encontraron diferencias estadísticas altamente significativas por efecto de la fertilización, así como variaciones del pH (H₂O) de los suelos en los dos experimentos en las capas de 00–25 cm y 25–50 cm en los tratamientos fertilizados de Zamora evolucionó de 4,98 a 5,17 y de 4,93 a 4,86; y en los tratamientos de Pangintza se incrementó de 3,07 a 3,12 y 4,89 a 5,03 respectivamente. Del mismo modo, la acidez intercambiable disminuyó; además, se incrementaron las concentraciones de Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺; el K⁺ permaneció bajo, como producto en gran parte de la absorción de los nutrientes por las especies maderables y a la lixiviación de los nutrientes debido a las lluvias constantes. En la capa 00–25 cm de los tratamientos fertilizados se incrementó la disponibilidad de P, Ca, Mg y Zn; el N, K y Cu permaneciendo en el rango bajo. En los tratamientos fertilizados de Zamora el valor promedio de C en el sistema (C hasta 50 cm en el suelo + C en la biomasa aérea) fue de 204,7 t ha⁻¹, correspondiendo el 89.9% al C en el suelo hasta 50 cm de profundidad y el 10.1% al C de la biomasa aérea; mientras que para Pangintza fue de 152 t ha⁻¹, correspondiendo el 80% al C en el suelo hasta 50 cm de profundidad y el 20% al C de la biomasa aérea.

En la misma línea, López *et al.* (2015), en Cuba, trabajaron el proyecto investigativo Características de sustratos orgánicos acondicionados con biocarbón: Influencia en la calidad de plantas de *Talipariti elatum* (Sw.) Fryxell cultivada en tubetes, que tuvo el propósito de determinar las propiedades físicas de sustratos orgánicos en mezclas con biocarbón como acondicionador y su influencia en la calidad de plantas de *Talipariti elatum* (Sw.) Fryxell cultivada en tubetes. Para ello realizaron un ensayo experimental, el cual se instaló en una casa de cultivo, ubicada en las áreas del Laboratorio de Suelos perteneciente

al Ministerio de la Agricultura, municipio Pinar del Río ($22^{\circ}25'21,9''$ N; $83^{\circ}40'33,6''$ E). Los sustratos independientes empleados fueron cachaza, turba, biocarbón y mezclas volumétricas de cachaza-biocarbón y turbabiocarbón en un experimento completamente aleatorio con nueve tratamientos y diez réplicas. Demostraron la influencia positiva del biocarbón en las propiedades físicas de los sustratos dado por la disminución de la densidad aparente, diámetro medio de partículas y aumento de la retención de humedad de las mezclas en relación con los componentes individuales. El análisis de correspondencia mostró una correlación significativa ($p \leq 0,05$) entre los sustratos y las variables destubetado, estabilidad del cepellón y arquitectura radical. La especie *Talipariti elatum* (Sw.) Fryxell mostró una respuesta favorable demostrada por sus parámetros morfológicos, donde los más favorables resultaron en los sustratos conformados por cachaza con un ochenta y cinco por ciento (C80 y C50), lo que evidenció que estos sustratos proporcionan las mejores características químicas y físicas requeridas para su crecimiento.

En El Salvador, Henríquez (2014), investigó Comparación de la calidad culinaria y del análisis bromatológico proximal de la especie *Phaseolus vulgaris* L. (frijol común) variedad Chaparrastique y la importada de China, que comprendió la determinación de: % humedad, % proteína, % grasa, % fibra cruda, % ceniza y % carbohidrato, cuyos valores obtenidos fueron para la primera variedad de: 10,56% de humedad; 23,32% de proteínas; 3,29% de grasa; 5,15% de fibra cruda; 3,16% de cenizas y 65,17% de carbohidratos; en la segunda variedad obtuvo: 11,8% de humedad; 27,05% de proteína; 3,27% de grasa; 6,20% de fibra cruda; 4,18% de cenizas y 63,87% de carbohidratos, respectivamente.

Mientras a nivel nacional, destacan en la temática:

Cruz *et al.* (2019), en Barranca, Lima, investigaron la fertilización foliar de fósforo en frijol castilla (*Vigna unguiculata* L.), para determinar la dosis adecuada en el mayor rendimiento, aplicando en tres momentos, siendo los tratamientos T1 = 0, T2 = 0,5, T3 = 1,0 y T4 = 1,5 L por 200 L. de agua, empleando un diseño de bloque completamente al azar, cuyos resultados fueron sometidos a un análisis de varianza y la Prueba de Duncan; los resultados obtenidos, determinaron que el T4 tuvo el mayor rendimiento con 2,9 Tm ha⁻¹, pero los demás tratamientos arrojaron buenos resultados en cuanto a altura de planta, número de flores por planta, muestreo de vainas y peso por planta, mostrando todos homogeneidad estadística; también los datos obtenidos de longitud de vaina, número de granos, peso de 100 semillas, no mostraron diferencias significativas, sobresaliendo en los datos de Análisis foliar el T4 con 0,72 g de fósforo/100 de materia seca con un costo beneficio S/ 0,53 Soles.

Las experiencias en la obtención de pulpa papelera o derivados celulósicos a partir de diferentes tipos de materias primas, a nivel internacional, mostradas son:

En la India, Pattnaik *et al.* (2022), emplearon muestras de caña de humedal (*Phragmites karka*), para obtener celulosa (pulpa papelera), tratando las muestras primero, mediante hidrólisis con agua subcrítica, usando parámetros de 170°C, presión de 3,5 MPa, tiempo de 30 minutos y relación de agua:biomasa de 1:50; la extracción de la pulpa papelera lo realizaron con NaOH al 0,5 M (2%), el blanqueamiento con peróxido de hidrógeno (H_2O_2), a 55°C, por 1,5 h, usando una relación de biomasa:reactivo de 1:30 y una velocidad de agitación de 250 rpm; obteniendo fibras de celulosa con un rendimiento de 35,1% en peso y con un contenido de lignina residual del 0,4% en peso.

Los autores Kassab *et al.* (2020), en Marruecos, extrajeron derivados celulósicos de vainas de arveja (*Pisum sativum*) y haba (*Vicia faba*), tales como microfibras y nanocristales de celulosa, primero trituraron las vainas y lavaron el material particulado con agitación en agua a 60°C por 1 hora, luego hicieron la extracción de las microfibras celulósicas con NaOH al 4%, seguido de un blanqueamiento con una mezcla de tampón de acetato y clorito de sodio acuoso; posteriormente los nanocristales se aislaron de las microfibras por hidrólisis con ácido sulfúrico al 64% en peso a 50°C durante 30 min.

Por su gran contenido de material lignocelulósico no maderero, en la India, Sharma *et al.* (2020), evaluaron la sarkanda (*Tripidium bengalense*), determinando celulosa en un $36,2 \pm 0,5\%$, hemicelulosas $35,2 \pm 0,41\%$, lignina $21,2 \pm 0,22\%$ y cenizas $8,2 \pm 0,3\%$; y la obtención de pulpa lo hicieron a base de soda-antraquinona al 15% por 25 minutos de cocción; usaron el método de extracción de ODE_{OP}D (O-Oxígeno de blanqueo; D-dióxido de cloro; EOP- etapa de extracción con hidróxido de sodio, oxígeno y peróxido de hidrógeno); y el método de blanqueo de la pulpa mediante OZ_{EOP}P_OP_O (Blanqueo con ozono seguido de etapa de extracción; PO- Peróxido de hidrógeno con oxígeno a alta temperatura y presión), con el cual lograron inicialmente 58,5% de pulpa, pero luego de incrementar la concentración del álcali y el tiempo de cocción, se redujo a 52,3% de pulpa final libre de cloro elemental, en razón de que el aumento de la concentración de soda aceleró la degradación de los polisacáridos junto con la lignina.

También en la India, Bhardwaj *et al.* (2019), aprovecharon el bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), cuya caracterización química indicó contenidos de 40,4% de celulosa, 33,2% de hemicelulosas, 17,4% de lignina y 6,45% de cenizas con 2,76% de sílice; emplearon el método de pulpeado con soda caustica, determinando parámetros de concentración de álcali al 14%, tiempo de cocción de 15 min y temperatura de 162°C, como óptimos; el blanqueo de la pulpa lo realizaron, utilizando cloro elemental (Cl⁻), hipoclorito y dióxido de cloro (ClO_2), determinando un significativo impacto en las propiedades de resistencia de la pulpa y una notable reducción en la carga contaminante de las aguas residuales.

Las cáscaras y brácteas de plátano (*Musa paradisiaca*), también han sido estudiadas por Harini *et al.* (2018) en la India, como fuentes para producir nanofibras celulósicas, para ello previamente las muestras se deshidrataron en un secador de lecho fluidizado a 50°C, se molieron hasta obtener un polvo, que luego fueron sometidos a una extracción Soxhlet con acetona y hexano por 10 h cada uno, con la finalidad de eliminar compuestos polares y no polares, se secaron a temperatura ambiente para eliminar restos de los compuestos químicos; luego 10 g de polvo de cada muestra fue tratada con 90 mL de agua desionizada, sometida a digestión con microondas a 525 W por 5 minutos, continuando una agitación a 600 rpm por 30 minutos, luego filtraron para eliminar las moléculas disueltas; aplicaron una segunda digestión a la torta con celulosa insoluble, repitiendo este proceso hasta la total eliminación de las impurezas, después culminaron la digestión con microondas, realizaron a continuación el blanqueado de la mezcla conteniendo microcelulosa con H₂O₂ al 5% e incubando a 70°C por 30 minutos, luego las fibras blanqueadas, fueron secadas por congelación y almacenadas en bolsas de polietileno.

Tan solo las cáscaras de plátano (*Musa paradisiaca*) en estado verde, también fueron experimentadas en Brasil, por Tibolla *et al.* (2018) como fuentes de nanofibras de celulosa, que una vez separadas manualmente del fruto, fueron inmersas en una solución de metasulfito de K (1% p/v) por 24 h para evitar su oxidación, luego se secaron en un horno de convección forzada a 60°C por 24 h, ya secos, se molieron en un molino de cuchillas, luego las partículas se lavaron con etanol para eliminar componentes lipídicos, secándose a continuación en una estufa a 60°C por 24 h; las partículas secas se tamizaron en una malla 200, obteniendo micropartículas de 24,5 mm; luego se las trató con una solución de KOH al 5% (p/v) en proporción de 1:20, con agitación mecánica a temperatura ambiente por 14 h a fin de solubilizar la pectina y hemicelulosa, continuaron con el deslignificado con NaClO₂ al 1% (p/v) a pH 5,0 que fue ajustado con ácido acético al 10% (v/v) a 70°C por 1 h, se repitió dos veces a fin de garantizar la descomposición de los compuestos fenólicos o moléculas con grupos cromóforos, después el residuo fue sometido a hidrólisis ácida con H₂SO₄ a concentraciones de 0,1, 1,0 y 10% (v/v) a temperatura de 80°C por 1 h, con lo cual se eliminó trazas de minerales y se logró hidrolizar la celulosa amorfa que proporcionó las nanofibras deseadas.

Un trabajo similar con la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*), fue desarrollado en la India por Khawas y Deka (2016), las cuales fueron separadas de la pulpa manualmente y luego sumergidas inmediatamente en una solución de metabisulfito de potasio al 1% durante 12 h para evitar la oxidación y el pardeamiento enzimático, a continuación fueron secadas a 50°C por 24 h, en un secador de bandeja convectivo, y una vez secas, se molieron y tamizaron por con una malla de 0,25 mm, luego se envasaron en bolsas de

polietileno y llevadas a almacenar a 4°C; posteriormente, la harina recibió un tratamiento alcalino con cocción en un digestor con NaOH al 20% (p/v) y antraquinona al 0,1% en una proporción de (1:20) a 170°C por 1,5 h, con la finalidad de solubilizar parcialmente pectina, lignina y hemicelulosas; luego la cáscara digerida fue lavada con agua destilada para eliminar los compuestos extraíbles; a continuación se para eliminar los gránulos insolubles restantes del primer tratamiento básico, se deslignificaron con NaClO₂ al 1% (p/v) a pH 5, ajustado con ácido acético al 10% (v/v) a 70°C durante 1 h; debido a la persistencia de los gránulos insolubles, realizaron un segundo tratamiento de blanqueo, logrando así la lixiviación de compuestos fenólicos y ligninas; luego los gránulos insolubles neutralizados restantes, fueron sometidos a un segundo tratamiento alcalino con una solución de KOH al 5 % (p/v) a temperatura ambiente (25±2°C) por 15 h, seguido de un lavado que eliminó hemicelulosas residuales; a continuación, los pellets se sometieron a un tratamiento de hidrólisis ácida con H₂SO₄ al 1% (v/v) a 80°C por 1 h, el cual ayudó a filtrar trazas de minerales, almidón residual y también celulosa amorfa hidrolizada y facilitó la obtención de las nanofibras requeridas, seguidamente, los gránulos insolubles se lavaron con agua bidestilada, para luego ser centrifugados a 10 000 rpm y a 4°C por 20 minutos hasta su completa neutralización, durante el cual se mantuvieron en estado hinchado por hidratación, para evitar generar fuertes enlaces de hidrógeno entre las nanofibras.

Otro residuo agrícola, la paja de arroz (*Oryza sativa*), fue experimentado por Ibrahim *et al.* (2015), en Egipto, como materia prima para obtener fibras celulósicas, así, 100 g de residuos, fueron primero sometidos a un proceso alcalino con NaOH al 5% (peso/peso) con una relación de 10:1 (peso soda caustica:peso paja arroz), luego se cocieron a 170°C por 2 h, para luego lavarla hasta la neutralidad; continuó la digestión ácida con H₂SO₄ al 5% en la misma proporción que la soda caustica, cociendo también a 170°C por 2 h, para luego lavarla hasta neutralizar el pH, siendo luego secada con aire y almacenada.

En Cuba, Pérez *et al.* (2000), en el trabajo de investigación Plantas anuales. Fuente alternativa de fibra en la fabricación de papel, analizaron como fuentes alternativas para la producción de pulpa papelera, el uso de bambú, paja de arroz, kenaf, pseudotallo de plátano, crotalaria y bagazo de caña, mostraron las características y propiedades de cada uno de ellas, destacando unos en relación a otros, motivados por el resurgimiento del gran interés por el empleo de fuentes alternativas como materia prima fibrosa para la industria de celulosa y papel motivado por: Restricciones de carácter ecológico, escasez de recursos forestales en algunas regiones del mundo, e, inestabilidades experimentadas en los precios de pulpas vírgenes.

En nuestro país, se desarrollaron trabajos como:

Quihue (2014) en Ayacucho, desarrolló la tesis Obtención de fibras a partir del raquis

de plátano para producir pulpa de papel, se planteó como objetivo general el determinar los parámetros del proceso óptimo para la obtención de pulpa de papel a partir del raquis del plátano, empleando para ello el proceso a la sosa y entre las conclusiones más importantes con respecto a los parámetros óptimos, están que a concentraciones de 18, 15, 13 10% de NaOH, principalmente en la muestras 3 y 4, a un tiempo entre 60 y 70 minutos de cocción, obtuvo valores promedios entre 2,98 – 3,78% de lignina presente en la pulpa, la cual es acorde y recomendable al tipo de papel que se desea obtener; determinó que a mayor temperatura de cocción el % de lignina es menor, dependiendo al tipo de pulpa a obtener y por ende al uso que tenga; para obtener un pH acorde a las necesidades de la pulpa, desde el proceso de cocción, lavado y finalmente en el blanqueo, la temperatura promedio del agua debe estar entre 70 - 85° C, con lo cual es pH se mantiene entre 7,05-7,54, que son los óptimos para obtener una buena pulpa de papel; determinó valores entre 23,27 y 28,60% de alfa celulosa (celulosa pura no degradada de alto peso molecular), 1,79 y 1,99% de γ -celulosa (principalmente hemicelulosas o celulosa impura de alto peso molecular), 69,61 y 74,74% de β -celulosa (celulosa impura); utilizó el hipoclorito de sodio, para evitar el quemado y destrucción de las fibras en una concentración del 4%; y, el rendimiento del proceso, expresado en porcentaje de pulpa obtenido por cantidad de materia prima empleada, se situó en torno al 45-50%.

MÉTODO

Lugar de ejecución

La fase de campo, se desarrolló en una hectárea de terreno, situado al frente del Caserío Dos de Mayo, comprensión de la Comunidad Nativa de San Francisco, distrito de Yarinacocha, provincia de Coronel Portillo, región Ucayali, teniendo la Comunidad Nativa como coordenadas UTM 9085352 539539 18L, y las coordenadas y el croquis del terreno se muestran en el anexo correspondiente. El suelo de dicho terreno, fue analizado antes de la siembra del frijol caupí, luego de adicionarle el biocarbón enriquecido y después de la cosecha del frijol caupí. La parte experimental de análisis bromatológico de las semillas en los laboratorios de la empresa Natura Analítica SAC, distrito de Callería, y, los ensayos de extracción y rendimiento de pulpa papelera, en las instalaciones del Laboratorio de Procesos Agroindustriales de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía, distrito de Yarinacocha, ambos ubicados en la provincia de Coronel Portillo, departamento de Ucayali, respectivamente.

Materiales, equipos, reactivos, cultivo microbiano y herbicidas

A. Materiales

Cuescos de palma aceitera, estiércol de ganado vacuno, agua, sacos de polietileno de 50 kg, rafia, aguja, palanas, tanque de PVC de 1100 litros, baldes de 4 y 20 litros, libreta de campo, plásticos de alta densidad, medidor de litro, leña, fósforo, bolsas Ziploc, papel bond A4 75 g, lapicero, plumón de tinta indeleble.

B. Equipos

Carbonizadores tipo estilo abierto PhilRice, termómetro láser, balanza de 300 kg, molino triturador de 7 HP, motofumigadora (atomizador), motocultivadoras, toma muestras de suelo, GPS, termohigrómetro, vernier (pie de rey), pH-metro.

C. Reactivos

Ácido cítrico, azúcar rubia.

D. Cultivo microbiano

Biolac.

E. Herbicidas

Erraser, Tifón.

Metodología

A. Análisis y preparación del suelo

- a. Se efectuó una visita al terreno experimental, donde luego de dividirlo en dos parcelas P_1 y P_2 , cada una de 50 metros por 100 metros.
- b. Luego se limpió cinco (05) áreas en cada una y se procedió con el equipo respectivo, a tomar las sub muestras de suelo en cada área.
- c. Después se depositó las cinco sub muestras en una bolsa Ziploc, las cuales luego se homogenizaron para hacer una sola muestra, por consiguiente se obtuvo 2 muestras, una para cada parcela.
- d. Se llevó luego a almacenar a refrigeración.
- e. Al día siguiente, se despachó a los laboratorios de la ciudad de Lima, para sus respectivos análisis, cuyos resultados se muestran en la Tabla 1.
- f. Terminada la fase de toma y envío de muestras a los laboratorios en la ciudad de Lima, se continuó con la preparación del terreno, el cual en una primera etapa, se limpió con la ayuda de motocultivadoras.

- g. Luego se procedió a pasar arado y rastra mediante un tractor agrícola, en toda el área del terreno.
- h. Debido a que la flora típica del terreno estaba conformada en casi su totalidad de la mala hierba conocida como cashaucsha (*Imperata brasiliensis*), y por acción de la elevada humedad por la estación lluviosa en la zona, se observó un crecimiento agresivo de la misma, por lo cual se utilizó el herbicida Erraser, dejando luego al terreno en reposo por una semana.
- i. Culminada la etapa de reposo, se procedió a establecer que P₁ sería la parcela control y la P₂, sería la parcela intervenida con biocarbón enriquecido.

B. Caracterización fisico-química de cuescos de palma aceitera

- a. Se recolectó los cuescos de palma aceitera de la empresa INDUSTRIAS PALM OLEO S.A.C., ubicada en el km 19, margen izquierda, en la carretera Federico Basadre, ruta Pucallpa-Tingo María, en sacos de polietileno de 50 kg, los cuales luego de llenados, fueron colocados en la furgoneta, aprovechando para tomar una muestra, la cual fue enviada a Lima para su caracterización físico química en los laboratorios, cuyos resultados se observan en la Tabla 2.
- b. A continuación se trasladó la furgoneta con los sacos a la balanza de plataforma, efectuándose así un primer pesado a fin de obtener el peso bruto del cuesco que arrojó un peso de aproximadamente 7 t (7 000 kg).
- c. Luego se procedió a su transporte hacia el centro de acopio.

C. Parámetros de fabricación del biocarbón

El biocarbón fue fabricado mediante la técnica del PhilRice, que comprende el proceso de pirólisis en un sistema abierto desarrollado en Tailandia y reportado por Hugill (2013) y que ha sido adaptado en la presente investigación.

- a. Los cuescos se sometieron a pirólisis en ocho (08) carbonizadores metálicos, fabricados de cilindros metálicos de 200 litros de capacidad, los cuales fueron cortados a la mitad y adaptados los accesorios, a parámetros variables de temperatura: mínima de 159 y máxima de 490°C, el cual fue monitoreado mediante un termómetro infrarrojo digital por un tiempo entre 8 a 12 horas.
- b. A fin de evitar la formación de cenizas y facilitar la formación de los poros del biocarbón, se procedió a enfriarlo, rociando agua fría.
- c. Cuando el biocarbón se enfrió totalmente, se envasó en sacos de polietileno, que fueron cosidos, pesados (2 314,28 kg) y luego trasladados hasta la cercanía del terreno experimental.
- d. Luego se procedió a moler el biocarbón en un molino triturador con un motor

gasolinero de una potencia de 7 HP.

- e. El biocarbón molido, posteriormente fue almacenado sobre un fardo plástico, a modo de un montículo apilado, de donde se fue tomando las cantidades según la dosis establecida para su posterior tratamiento con biol.

D. Elaboración y análisis del biol

- a. Primero se compró un saco de 50 kg de azúcar rubia y 500 g de ácido cítrico.
- b. Después se recolectó el estiércol de ganado vacuno del fundo “Pacheco”, ubicado en el km 19, margen izquierdo de la Carretera Federico Basadre Pucallpa-Tingo María.
- c. Luego se trasladó al lugar donde se preparó el biol.
- d. A continuación se procedió a formular el biol en base a los insumos indicados, obteniéndose, el cual se muestra en la Tabla 4.
- e. Todos los insumos fueron mezclados, usando para ello el agua como medio diluyente y el tanque de PVC como recipiente reactor, que luego de una agitación enérgica, se selló la tapa del tanque.
- f. Se dejó en un lugar fresco (bajo un árbol), y se dejó fermentar anaeróbicamente durante 63 días, removiendo periódicamente cada semana y midiendo el pH. El término de la fermentación, estuvo determinada por el valor del pH que fue de 3,77.
- g. Luego se tomó una muestra de un litro, la cual fue almacenada en refrigeración y luego se remitió a los laboratorios de Lima, para su análisis físico químico, cuyos resultados se muestran en la Tabla 2.

E. Análisis físico-químicos del biocarbón antes y después del tratamiento con biol de vacaza

e.1. Análisis fisico-químico del biocarbón

- Se tomó una muestra de 500 g de biocarbón, la cual fue llevada al laboratorio para su tamizado y medición del tamaño de partícula, determinándose partículas desde 2,4 mm hasta < 1 mm.
- Luego la muestra debidamente rotulada y empaquetada fue enviada a los laboratorios para sus respectivos análisis, cuyos resultados se muestran en la Tabla 6.

e.2. Tratamiento del biocarbón con biol de vacaza y análisis fisico-químicos

- Para el tratamiento del biocarbón, se midieron 220 litros del biol de vacaza y 1

980 litros de agua.

- Luego en envases plásticos de 20 litros de capacidad se agregaron 2 litros de biol y 18 litros de agua, removiendo a continuación, y en la dilución se agregó 10 kg de biocarbón.
- Esta mezcla se agitó vigorosamente, se tapó herméticamente y se dejó 2 días, a fin de que el biocarbón, absorbiera y adsorbiera los nutrientes del biol y sufriera un enriquecimiento de nutrientes.
- Con la finalidad de validar el enriquecimiento nutricional del biocarbón, con la inmersión en biol de vacaza, una muestra se remitió a los laboratorios de la ciudad de Lima, y cuyos resultados se observan en la Tabla 6.

F. Intervención de la P₂ con biocarbón enriquecido y análisis físico-químicos

- a. La dosis que se aplicó fue de 10 th⁻¹ (1 kg de biocarbón enriquecido/m²), en un área de 4 500 m² de P₂, para lo cual se efectuó los cálculos para establecer la cantidad de surcos y su área respectiva.
- b. Primero se removió fuertemente la mezcla de biocarbón con biol, almacenados en los envases de plástico para homogenizar la solución.
- c. Luego esta solución se fue agregando a lo largo del surco, seguido de una remoción rápida con la lampa y mezclando uniformemente el suelo con la enmienda.
- d. Una vez uniformizado el biocarbón enriquecido en el suelo, se lo dejó en reposo 05 (cinco) días, para efectuar la siembra del frijol caupí.
- e. Transcurrido quince días de la intervención del suelo de la P₂ con el biocarbón enriquecido, se tomó bajo la misma metodología, muestras del suelo intervenido, los cuales también se refrigeraron y luego al día siguiente, remitidos a los laboratorios de Lima, para sus respectivos análisis, cuyos resultados se muestran en la Tabla 7.

G. Análisis bromatológico del frijol caupí cultivado en P₁ y P₂

- a. Cuando a los 100 días, las vainas del frijol mostraron el estado seco en un 80% de las parcelas, fueron cosechados y continuando luego un secado solar por 3 días.
- b. Luego antes de proceder a su desgranado, se hizo la toma de datos de las vainas secas, cuyos valores, se registraron y luego de desgranados, se tomó los datos biométricos de las semillas, cuyos datos también se almacenaron en la base de datos respectiva.
- c. A continuación se molieron los granos tanto de la P₁ y P₂, y se guardaron en

bolsas Ziploc, las cuales fueron rotuladas.

- d. Luego las harinas integrales obtenidas, se trasladaron a los laboratorios de la empresa Natura Analítica SAC, a fin de realizar los análisis de los principales componentes nutricionales, cuyos resultados se observan en la Tabla 8.

H. Parámetros de extracción y rendimiento de pulpa papelera de vainas del frijol caupí

La metodología para determinar los parámetros de extracción de la pulpa papelera, correspondió al aplicado por Aguilar *et al.* (2007) y Canché-Escamilla *et al.* (2005), con sus modificaciones en función del tipo de materia prima y disponibilidad de reactivos, cuyos datos se muestran en la Tabla 9.

- a. Luego de cosechado los frijoles, se procedió a secar las vainas por 3 días mediante la radiación solar, cuando mostraron crocantez, fueron desgranados y luego llevados a almacenar en bolsas plásticas. Es necesario indicar que se secaron y se realizaron las mismas operaciones para las vainas procedentes de la parcela 1 (P_1) y de la parcela 2 (P_2).
- b. Posteriormente, las vainas secas fueron seleccionadas de acuerdo a su estado sanitario.
- c. Luego se procedió a cortar las vainas en trozos de 1 a 2 cm de longitud.
- d. Los trozos luego se almacenaron en bolsas según su procedencia.
- e. Se formaron 9 unidades de 25 g cada uno, a los cuales se asignó al azar números del 1 al 9. Del mismo modo fueron asignados aleatoriamente 3 unidades al tratamiento 1 con 10% de NaOH (T1), 3 unidades al tratamiento 2 con 20% de NaOH (T2) y 3 unidades al tratamiento 3 con 30% de NaOH (T3).
- f. Después se procedió a la digestión con las soluciones de NaOH, manteniendo constante el tiempo por 30 minutos para todos los tratamientos.
- g. Luego de la digestión, se eliminó el licor negro, procediendo a continuación a un lavado energético con agua destilada para eliminar los restos de soda cáustica hasta lograr un pH neutro.
- h. Se prosiguió con el blanqueado, que consistió en someter a las fibras neutralizadas a una inmersión en 500 mL de una solución al 10% de lejía comercial (hipoclorito de Na al 4,63% de cloro ó 4 630 ppm) por 24 horas.
- i. Luego se lavó con agua destilada hasta quitar la lejía residual.
- j. Agregando 100 mL de agua destilada se procedió al batido en una licuadora a velocidad media por 1 minutos.
- k. La pulpa celulósica obtenida se procedió a esparcir uniformemente sobre un

marco de madera con una tela muy fina.

- I. Se dejó secar la pulpa celulósica por 4 días a temperatura ambiente.
- m. Finalmente una vez secas la pulpa, se tomó su peso en gramos y se registró los valores en una base de datos (Tablas 10 y 11).
- n. Con los datos del peso registrado se procedió a determinar el rendimiento de pulpa papelera obtenida, mediante la fórmula indicada por Stanislas *et al.* (2021):

$$\% \text{ Pulpa} = \frac{\text{Peso de pulpa papelera seca (g)}}{\text{Peso de materia prima (g)}} \times 100$$

RESULTADOS Y DISCUSIONES

ANÁLISIS Y PREPARACIÓN DEL SUELO

Las muestras del suelo del terreno experimental, tanto de las parcelas P₁ y P₂, que fueron llevadas al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes, Universidad Nacional Agraria La Molina, presentaron los resultados que se muestran en la Tabla 1.

Características	Valor	
	P ₁	P ₂
Físicas		
pH	5,10	4,85
Conductividad Eléctrica, CE (dS/m)	0,04	0,03
Materia Orgánica (%)	0,86	1,00
Químicas		
Fósforo P (ppm)	5,30	1,90
Potasio K (ppm)	121,00	108,00
Capacidad de Intercambio Catiónico CIC (meq/100 g)	5,12	5,44
Boro B (ppm)	0,00	0,18
Cobre Cu (ppm)	0,65	0,75
Fierro Fe (ppm)	301,00	477,00
Manganoso Mn (ppm)	2,40	4,40
Zinc Zn (ppm)	16,10	7,75
Plomo Pb (ppm)	11,09	10,81
Cadmio Cd (ppm)	0,72	0,70
Cromo Cr (ppm)	8,34	9,03
Cationes Cambiables (meq/100 g)		
Calcio-Ca ⁺²	0,96	1,15
Magnesio-Mg ⁺²	0,55	0,60
Potasio-K ⁺	0,35	0,29
Sodio-Na ⁺	0,13	0,11
Aluminio+Hidrógeno-Al ⁺³ + H ⁺	0,10	0,25
Suma de cationes	2,09	2,41
Suma de bases	1,99	2,16
% Saturación de Bases	39,00	40,00

Tabla 1: Características físico químicas de las muestras de suelo de las parcelas P1 y P2.

Fuente: Elaboración propia con datos reportados por el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes, Universidad Nacional Agraria La Molina, (2019).

Los valores mostrados en la Tabla 1, de la composición física y química como

resultado de los análisis efectuados a los suelos de la parcela experimental, indican valores de pH para la parcela P₁ superior a 5,00 e inferior en la parcela P₂ de 5,57 determinados respectivamente por Reátegui *et al.* (2021). El pH ácido de estos suelos, se debe según Angulo (2014) a la actividad del agua de lluvia, que disuelve el dióxido de carbono de la atmósfera, generando una débil solución de ácido carbónico antes que llegue a la tierra, donde al entrar en contacto con el dióxido de carbono que hay en el aire del suelo, más la incorporación de sustancias orgánicas en la solución, incrementan su acidez, la cual por efecto de la lixiviación del agua de lluvia, aumentando la acidez del entorno.

En cuanto a la conductividad eléctrica, los valores obtenidos resultaron inferiores a 0,203 dS m⁻¹ determinado por Pinedo *et al.* (2020) y 0,23 dS m⁻¹ indicado por Jácome *et al.* (2013) para suelos inceptisoles, en virtud de que el suelo estudiado, presentó bajos contenidos de sales en disolución, y a la naturaleza de baja fertilidad que presentaron los suelos estudiados.

Los niveles de materia orgánica, resultaron ligeramente inferiores al valor de 1,33% (Pinedo *et al.*, 2020), 1,71 - 2,80% (Panduro *et al.*, 2021), 2,18 – 0,27% (Casas, 2014), y según Angulo (2014), a la materia orgánica del suelo, se le conoce como humus, el cual es transformada gracias al agua de la lluvia, que facilita la descomposición de las hojas secas al humedecerlas y por las sustancias producidas por las raíces, pero que se pierde por oxidación a la atmósfera, por erosión, lixiviación y aprovechamiento de las plantas.

Los niveles de fósforo determinados, fueron inferiores a 12,37 (Pinedo *et al.*, 2020), 45,8 ppm (Jácome *et al.*, 2013), 6,9 – 3,7 ppm (Casas, 2014), 2,49 ppm (Angulo, 2014) y 7,8 – 13,0 ppm (Panduro *et al.*, 2021), para suelos de fisiografía plana como de selva baja de Ucayali. La presencia de fósforo en el suelo, se debe según Useche *et al.* (2004) a la actividad biológica de los microorganismos, quienes lo liberan a partir de los fosfatos que se forman por la presencia de óxidos de hierro y aluminio en suelos de incipiente madurez.

El valor del contenido de potasio resultó inferior a 254,6 ppm (Pinedo *et al.*, 2020), superior a 99 – 72 ppm (Casas, 2014), 156 - 36 ppm en promedio (Panduro *et al.*, 2021), 71 – 43 ppm (Lozano *et al.*, 2021), 85,8 ppm (Arbildo, 2021), y muy superior a 2,73 ppm (Palomares, 2021). Estos valores de potasio determinados en el suelo, son típicos de suelos de Selva Baja, catalogados como inceptisoles.

Los valores de la capacidad de intercambio catiónico-CIC de los suelos estudiados, están ligeramente superiores a 4,80 meq/100 g (Arbildo, 2021), muy inferior a 7,68 – 12,32 meq/100 g (Reátegui *et al.*, 2021), y en promedio, ligeramente inferior a 5,32 meq/100 g (Palomares, 2021), quien manifiesta que es la expresión directa del potencial nutricional del suelo; cuyos valores se atribuye a su composición en arcillas (Jácome *et al.*, 2013).

Campillo y Sadzawka (2006), indican que hay una estrecha relación entre el pH ácido del suelo y la CIC, pues, si el pH es bajo, es decir presenta alta acidez, los suelos tienen una baja CIC, cuya disminución de la CIC, afecta su capacidad de atraer cationes y que al estar libres en la solución, pueden fácilmente perderse por lixiviación.

ANÁLISIS DE CUESCOS DE PALMA ACEITERA

Los resultados del análisis físico químico de los cuescos de palma aceitera, efectuados en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes, Universidad Nacional Agraria La Molina, se indican en la Tabla 2.

Características	Valor
Físicas	
pH	5,83
Conductividad Eléctrica (dS/m)	2,91
Materia Orgánica (%)	90,87
Químicas	
Nitrógeno N (%)	0,83
Fósforo P (mg/l)	0,32
Potasio K (%)	0,61
Óxido de Calcio CaO (%)	0,97
Óxido de Magnesio MgO (%)	0,32
Sodio (%)	0,02
Fierro Fe (ppm)	693,00
Cobre Cu (ppm)	17,00
Zinc Zn (ppm)	20,00
Manganoso Mn (ppm)	107,00
Boro B (ppm)	13,00
Plomo Pb (ppm)	2,38
Cadmio Cd (ppm)	0,55
Cromo Cr (ppm)	16,03

Tabla 2: Análisis físico químico de los cuescos de palma aceitera.

Fuente: Elaboración propia con datos reportados por el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes, Universidad Nacional Agraria La Molina, (2019).

El pH valor del determinado en los cuescos de palma aceitera, nos indica su naturaleza ácida, en función de su contenido de minerales como manganoso y fierro principalmente, pero que Yin *et al.* (2008), lo amplían con potasio, calcio, magnesio y fósforo.

La conductividad eléctrica reportada en los cuescos de palma aceitera, nos indica que tiene un alto contenido de minerales y según Guerra (2015), muestra la medida del contenido total de sales disueltas en los cuescos, donde se incluyen todos los fertilizantes

y sales neutras que se encuentran en su composición.

La materia orgánica mostró un valor muy superior a 0,22% determinado por Aguilar (2016), el cual está en estrecha relación con su contenido de nitrógeno y carbono, elementos que han sido absorbidos por la semilla, desde el suelo, por lo cual, hay una estrecha relación entre el contenido de materia orgánica de los cuescos y los elementos constituyentes de la materia prima del suelo, donde creció la planta y que permitió la migración de dicho elementos a los cuescos.

El valor del nitrógeno mostrado por los cuescos ha resultado inferior a 1,32% obtenido por Agudelo (2017) y 1,10% logrado por Rivera (2021), en virtud de los procesos fisiológicos desarrollados por las plantas, considerando que el N, es uno de los principales macronutrientes para la planta, el cual es absorbido desde el suelo, donde se manifiesta como nitratos (NO_3^-).

El fósforo determinado en los cuestos de palma aceitera, mostró un valor mucho menor en relación a 1,04% indicado por Edoziuno *et al.* (2021) y a 0,28 – 1,33% reportado por Rusnani y Ma (1999), explicando que el P llega a los cuescos, según Rahman (2010), desde el suelo, por los pelos y ápices de la raíz y las capas exteriores de las células radiculares, luego es absorbido principalmente como ion-ortofosfato primario (H_2PO_4^-), pero también como ortofosfato secundario ($\text{HPO}_4^{=}$) y esta forma se incrementa cuando el pH del suelo sube.

En cuanto al valor mostrado para el potasio, es inferior a 8,06%, indicado por Edoziuno *et al.* (2021), también a 1,02 - 4,31 mostrado por Rusnani y Ma (1999) y 3,24% por Cotes (2018), en virtud de que el K que la planta absorbe, según Hernandez *et al.* (2010), es el intercambiable, el cual está retenido por los componentes del suelo de forma electrostática y representa tan sólo el 0,1 al 2% del K total, que puede ser rápidamente disponible para la planta, la cual lo absorbe como K^+ en solución, dependiendo su efectiva asimilación si hay presencia de cationes Ca^{+2} y Mg^{+2} y en suelos ácidos por Al^{+3} y salinos por Na^+ .

El calcio es otro mineral muy importante que mostró un valor muy superior a 0,13% reportado por Cotes (2018), pero inferior al 8% determinado por Edoziuno *et al.* (2021) y 2,8% por Cotes (2018), en virtud que la semilla presentó bajos niveles de Ca, este mineral, que según Brady y Weil (2008), sus moléculas se fijan de modo insoluble en forma de fosfatos en el suelo, lo cual dificulta su absorción y la del P al mismo tiempo por la planta.

El valor del hierro determinado resultó muy inferior a 23 200 ppm reportado por Edoziuno *et al.* (2021) pero superior a 94,59 ppm indicado por Cotes (2018), el cual según Rodríguez (2018) por ser fácilmente soluble, las plantas lo absorben en una gran cantidad,

a través de sus órganos bajo la forma de Fe^{2+} , pero también Fe^{3+} y quelatos de Fe, y en virtud de que las raíces de las plantas pueden reducir el Fe^{3+} a Fe^{2+} , esta es la forma en la mayoría de plantas lo absorben desde el suelo.

PARÁMETROS DE FABRICACIÓN DEL BIOCARBON

Los parámetros para la fabricación de biocarbón a partir de los residuos de las semillas de la palma aceitera, se muestran en la Tabla 3.

Peso cuesco (kg)	Temperaturas pirólisis (°C)		Tiempo pirólisis (h)		Peso biocarbón (kg)	Rendimiento (%)
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima		
7 000	159	490	8	12	2 314,28	33

Tabla 3: Parámetros de fabricación de biocarbón.

Fuente: Elaboración propia, (2019).

En cuanto a la temperatura de pirólisis, los parámetros determinados difieren de 353 y 576,6°C indicado por Lozano *et al.* (2021), debido a que al tratarse de una método de pirólisis denominado PhilRice de estilo abierto, no es posible controlarlo de modo eficiente, pues dependen de las condiciones climatológicas que predominan en el área donde se realiza el proceso térmico. También resultaron diferentes de 300 y 500°C utilizado por Romero *et al.* (2016), que empleó pirólisis lenta en un reactor de lecho fijo a escala de laboratorio.

El tiempo de pirólisis, estuvo en relación a la cantidad de materia prima a carbonizar, existiendo coincidencia en el tiempo mínimo de 8 horas indicado por Lozano *et al.* (2021), pero que en la presente investigación se extendió 4 horas más, debido a que la materia prima presentó un contenido de humedad mayor, pues los sacos con los cuescos, estuvieron almacenados en un espacio abierto, sin techo, donde la lluvia mojó y penetró en el cuesco. Romero *et al.* (2016), a nivel de laboratorio, usó 1 hora para la pirólisis.

En cuanto al rendimiento, el obtenido resultó mayor a 24%, reportado por Rivera (2021), el cual se atribuye a factores como el tipo de pirólisis empleada, pues la pirólisis lenta genera rendimientos entre 30 y 60% (Qian *et al.* 2015) y también Qin *et al.* (2020) lo atribuye a la temperatura de pirólisis, pues cuanto más elevada sea, el rendimiento será menor.

ELABORACIÓN Y ANÁLISIS DEL BIOL

Los materiales, reactivo y cultivo microbiano, para la elaboración del biol de vacaza se muestran en la Tabla 4.

INSUMO	CANTIDAD (kg)	%
Estiércol de ganado vacuno	400,00	39,58
Agua	400,00	39,58
Biolac	60,00	5,94
Ácido cítrico	0,50	0,05
Melaza de caña de azúcar	150,00	14,84
TOTAL	1 010,50	100,00

Valor del pH al día 0 = 6,84

Tabla 4: Insumos para la elaboración de biol de vacaza y pH inicial.

Relación de Materia Orgánica/Agua = 40%/60%.

Fuente: Elaboración propia, (2019).

La elaboración de bioles a partir de desechos e insumos agropecuarios y agrícolas, es una práctica muy beneficiosa, por su riqueza en micro y macronutrientes, avalando así la agricultura orgánica (Jara-Samaniego *et al.*, 2021) y ha sido experimentado por Guevara (2019), que usó estiércol vacuno (500 g), cáscara de huevo (50 g), leche (100 mL), rocoto (100 g), cebolla roja (100 g), sábila (100 g), ajo (100 g), azúcar rubia (100 g), agua no potable (1 500 mL) y chicha de jora (100 mL), usando una relación de Materia Orgánica/Agua de 25%/75%. Del mismo modo, Gómez (2018), empleó para elaborar un biol, agua limpia (15 l), estiércol de vacuno (3 kg), leche fresca (750 mL), jugo de alfalfa (500 mL), restos de pescado (1 kg), azúcar rubia (1 kg) y orina de vaca (1 L), empleando una relación de Materia Orgánica/Aqua de 80%/20%. Por su parte, Mesinas *et al.* (2021) usó agua (14 l), estiércol bovino (5 kg), ceniza (400 g), melaza (400 g) y suero (400 mL), obteniendo una relación de Materia Orgánico/Aqua de 29%/71%; si comparamos la relación de Materia Orgánica/Aqua del presente trabajo, observamos que existen diferencias, en función de la disponibilidad de los insumos y su facilidad de obtención.

El uso de estiércol de ganado vacuno como insumo principal para la obtención de bioles, ha sido experimentado por las ventajas que otorga al fertilizante líquido, al aportar según Espíndola (2018), lo microorganismo que serán los responsables de digerir, metabolizar y colocar en forma disponible para las plantas y el suelo los elementos nutritivos producto de fermentación, y, según Enriquez (2021), aumenta significativamente la materia orgánica del suelo, aporta mayor concentración de nitrógeno, fósforo y potasio, y disminuye los microorganismos perjudiciales para el desarrollo de las plantas.

El agua, insumo esencial en el proceso de obtención de bioles, se constituye en el medio en el cual se disuelven los elementos solubles de los componentes de la mezcla, propiciando condiciones de humedad para el desarrollo y crecimiento de los consorcios microbianos y se facilita el contacto de los sistemas enzimáticos con los sustratos respectivos para su metabolización en elementos nutricionales como N, P, K, C como materia orgánica,

otros macro y micronutrientes, así como fitohormonas. Suquilandia (1996), manifiesta que el contenido de humedad en los bioles debe estar alrededor del 90% en peso del contenido total, pero en la presente investigación fue menor.

El consorcio microbiano Biolac, conformado por bacterias lácticas, ha sido experimentado por Mosquera (2010) que tiene bacterias benéficas del género *Lactobacillus*, que neutralizan los malos olores, aceleran la descomposición de la materia orgánica y lo convierten rápidamente en abonos orgánicos, que al ser usados mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

El uso del ácido cítrico, como insumo de la formulación del biol, contribuyó a ajustar el pH de la solución, y así promover en un primer momento, la adaptación del consorcio bacteriano de naturaleza acidófila, y, en un segundo momento, contribuir a favorecer el ambiente propicio para su metabolismo y desarrollo, asegurando la obtención del fertilizante con excelente características fertilizantes.

Las ventajas del uso de las melazas, como insumos en la formulación de los bioles, según Medina *et al.* (2015), es que proporciona los carbohidratos hidrosolubles que son los sustratos para las bacterias lácticas del consorcio Biolac, generándose ácido láctico y en consecuencia se aumenta la acidez en las mezclas, con los cuales se detiene la proliferación de microorganismos patógenos. Además según Reyes *et al.* (2011), es un acelerador de la descomposición de la materia orgánica porque contribuye con los hidratos de carbono que proporcionan la energía necesaria para el desarrollo microbiano. Mosquera (2010), indica que contiene potasio, calcio, magnesio y micronutrientes, principalmente boro.

El biol, tuvo 63 días de fermentación, superior a los 30 días manifestado por Buchelli (2014), a los 45 días por Cruz-Hernández *et al.* (2017), pero inferior a los 83 días indicado por Reátegui *et al.* (2021), y haber alcanzado su período de maduración, fue sometido a un proceso de análisis físico químico, cuyos resultados se muestran en la Tabla 5.

Características	Valor
Físicas	
pH	3,50
Conductividad Eléctrica, CE (dS/m)	9,19
Sólidos Totales (g/L)	39,03
Materia Orgánica en Solución (g/L)	33,16
Químicas	
Nitrógeno, N Total (mg/L)	994,00
Fósforo, P Total (mg/L)	336,31
Potasio, K Total (mg/L)	1 325,00
Calcio, Ca Total (mg/L)	412,50

Magnesio, Mg Total (mg/L)	207,50
Sodio, Na Total (mg/L)	220,00
Fierro, Fe Total (mg/L)	1 895,25
Cobre, Cu Total (mg/L)	0,05
Zinc, Zn Total (mg/L)	1,11
Manganoso, Mn Total (mg/L)	27,25
Boro, B Total (mg/L)	1,48
Plomo, Pb Total (mg/L)	0,82
Cadmio, Cd Total (mg/L)	0,07
Cromo, Cr Total (mg/L)	0,37

Tabla 5: Caracterización físico química del biol obtenido de estiércol vacuno.

Fuente: Elaboración propia con datos reportados por el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes, Universidad Nacional Agraria La Molina, (2019).

El pH reportado a los 63 días de fermentación anaeróbica, resultó ácido, característico de bioles que se elaboran con el consorcio microbiano Biolac, que incluye bacterias acidolácticas, que al encontrar los sustratos adecuados y ausencia de oxígeno, produjeron ácidos orgánicos principalmente láctico, acético, propiónico y butírico (Leiva, 2018; Qi *et al.*, 2020) que contribuyeron a otorgarle la naturaleza ácida que mostró.

La CE, fue superior a 6,7 dS/m (Espíndola, 2018), inferior a 15,4 dS/m (Quipuzco *et al.*, Ushñahua) y 22,2 dS/m (Buchelli, 2014), pues el biol presentó sólidos en suspensión y disueltos, y representa la concentración de sales solubles (Barbaro *et al.* (2014; Qi *et al.*, 2020) presentes en los sustratos, el cual se debe tener cuidado pues indican que es recomendable una CE baja en los abonos, de preferencia en lo posible menor a 1 dS/m, porque puede llevar a una fitotoxicidad en los cultivos si se aplican directamente, por ello, antes de usarlo, se lo diluyó con 9 partes de agua, llegando a ser usado en una concentración del 10%, con lo cual se logró disminuir su valor inicial. Según Díaz (2017), un mayor contenido de nitrógeno, produce una mayor CE.

El valor de sólidos totales, indicó una alta carga particulada en la composición del biol, muy superior a 28 600 mg/L (Espíndola, 2018), e inferior a 52 500 y 60 300 mg/L (Qi *et al.*, 2020), que estuvo compuesto por los elementos minerales, restos de materia orgánica como fibras, biomasa microbiana, etc.

La materia orgánica, está íntimamente ligada al contenido de elementos orgánicos como el carbono y nitrógeno principalmente, demás elementos orgánicos y si consideramos lo manifestado por Burbano (2018), se atribuye en su composición restos de la biomasa producida por el metabolismo del consorcio microbiano que se desarrolló en el biol.

El valor del N del biol, resultó inferior a los valores de 2 500 mg/L (Espíndola, 2018), 10 200 mg/L (Cabos *et al.*, 2019), 25 000 mg/L (Guevara, 2019), pero superior a 209,11

mg/L (Peñafiel y Ticona, 2015), que según Gómez (1990) le otorga al biol la característica de bioabono. La importancia del nitrógeno sobre todo en forma inorgánica (nitrato y amonio) es fundamental para las plantas, pues a partir de él biosintetizan aminoácidos (Andrews *et al.*, 2013); luego los aminoácidos se utilizan además para la síntesis de proteínas en primer orden, enzimas, que propician la fisiología celular vegetal, principalmente el de la fotosíntesis en los tejidos verdes (Hirel y Krapp, 2020); luego los aminoácidos también son usados como donantes de N para la síntesis de ácidos nucleicos y todas las moléculas que contienen N, tales como hormonas, coenzimas, metabolitos secundarios y ureidos, lo cual permite la captación y transporte de minerales y la asimilación del carbono, fundamental para el crecimiento y desarrollo de las plantas, para la formación de los órganos reproductivos (Hirel *et al.*, 2007); por ello, Hirel y Krapp (2021) manifiestan que el N, es uno de los principales factores limitantes para el crecimiento y desarrollo de la planta.

En lo que respecta al P, resultó inferior a los valores de 742,4 mg/L (Espíndola, 2018), 3 360 mg/L (Guevara, 2019), 6 244,54 y 4 803,5 mg/L (Qi *et al.*, 2020), pero superior a 86,56 mg/L (Cobos *et al.*, 2019), cuya presencia se debió al alto contenido de pequeñas partículas como nutrientes (Rico *et al.*, 2011) presentes en el biol. Es otro mineral esencial para muchas funciones fisiológicas de las plantas, tales como la fotosíntesis y el transporte de carbohidratos, así como mejora las actividades del sistema de defensa antioxidante en entornos estresantes para los vegetales (Saleem *et al.*, 2020).

El K total, presentó valores muy superiores a 600 mg/L (Espíndola, 2018), pero inferior a 1 358,33 y 1 566,67 mg/L (Qi *et al.*, 2020), 5 190 mg/L (Buchelli, 2014). La presencia de fósforo en la composición de nutrientes con capacidad fertilizante para las plantas, debe a los microorganismos del consorcio que lo solubilizan a partir de los insumos utilizados en la formulación del biol (Chakraborty y Akhtar, 2021). Su presencia en los biofertilizantes orgánicos, es de suma importancia para las plantas, pues estimula una rápida formación y desarrollo de las raíces, también asegura un rápido y vigoroso desarrollo de las plantas, puede acelerar la maduración y estimular la coloración de los frutos (FAO, 2002). Es un catión muy importante que permite el balance eléctrico de los aniones, siendo esencial en el desarrollo de los tejidos, procesos metabólicos de la célula pues participa como regulador osmótico y regula la absorción de agua en la planta, (Comenero-Flores *et al.*, 2019). También juega un papel muy importante en la síntesis de carbohidratos y de proteínas dentro de la planta. Al mejorar el estado hídrico de la planta, la hace resistente a sequías, heladas y salinidad (FAO, 2002).

En cuanto al Ca, el biol mostró un valor inferior a 1 285,71 y 1 571,43 mg/L (Qi *et al.*, 2020), 2 440 mg/L (Buchelli, 2014). Su presencia en el biofertilizante, asegura muchos beneficios para la planta, pues activa, acelera la formación y el crecimiento de las raíces

pequeñas, fortalece el vigor de las plantas, ayuda a neutralizar las sustancias tóxicas y estimula la producción de semillas (FAO, 2002).

El contenido de Fe, resultó muy superior a 33,15 mg/L (Buchelli, 2014), y, muy inferior a 39 000 mg/L (Espíndola, 2018). Del mismo modo, el contenido de Fe en el biol, tendrá un efecto positivo en el crecimiento de las plantas porque tiene una participación muy importante en la biosíntesis de la clorofila (FAO, 2020).

Se tiene información que la actividad del consorcio microbiano, utilizado en la elaboración del biol de estiércol vacuno, mediante fermentación anaeróbica, produjo la liberación de hormonas promotoras del crecimiento vegetal (Chakraborty y Akhtar, 2021), la cual tiene efectos directos y beneficiosos en el crecimiento de las plantas, las cuales se denominan fitohormonas que regulan el crecimiento vegetal.

ANÁLISIS FISICO-QUÍMICOS DEL BIOCARBÓN ANTES Y LUEGO DEL TRATAMIENTO CON BIOL DE VACAZA

Luego de su fabricación y molido, una muestra del biocarbón obtenido a partir de los cuescos de la palma aceitera, fueron remitidos a la ciudad de Lima, para los análisis físico-químicos, cuyos resultados se encuentran plasmados en la Tabla 6.

Con la finalidad de verificar el nivel de enriquecimiento que logró el biocarbón al ser sumergido en el biol de vacaza, se remitió las muestras a la ciudad de Lima, donde en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes, Universidad Nacional Agraria La Molina, fueron caracterizados físico químicamente, cuyos valores se muestran en la Tabla 6.

Características	Valores	
	Biocarbón	Biocarbón enriquecido
Físicas		
pH	6,89	7,08
Conductividad Eléctrica (dS/m)	0,78	2,12
Materia Orgánica (%)	79,06	72,50
Químicas		
Nitrógeno N (%)	0,87	1,72
Óxido de Fósforo P ₂ O ₅ (%)	2,11	3,31
Óxido de Potasio K ₂ O (%)	1,16	1,33
Óxido de Calcio CaO (%)	0,69	0,70
Óxido de Magnesio MgO (%)	0,75	0,70
Sodio (%)	0,02	0,04
Fierro Fe (ppm)	4 088,00	5 383,00

Cobre Cu (ppm)	39,00	38,00
Zinc Zn (ppm)	61,00	60,00
Manganoso Mn (ppm)	658,00	715,00
Boro B (ppm)	18,00	20,00
Plomo Pb (ppm)	6,35	7,60
Cadmio Cd (ppm)	0,88	1,00
Cromo Cr (ppm)	20,95	19,63

Tabla 6: Análisis físico químico del biocarbón y biocarbón tratado en biol de vacaza.

Fuente: Elaboración propia con datos reportados por el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes, Universidad Nacional Agraria La Molina, (2019).

Si observamos los valores del pH, CE, N, P, K, Ca y Fe del biocarbón tratado con biol de vacaza, estos se incrementaron, y en el caso del pH, se vuelve menos ácidos y se incrementa levemente, debido a que disminuye su contenido de ácidos, en función de que pierde aniones y gana cationes, que proceden de los elementos metálicos presentes en el biofertilizante. La CE, también se incrementó y si consideramos que corresponde a la cantidad de sales solubles (Barbaro *et al.* (2014; Qi *et al.*, 2020), el biocarbón absorbió y adsorbió minerales, por su características adsorbentes, gracias a su naturaleza microporosa, formados durante la pirólisis de los cuestos de palma aceitera en función de su contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa (García y Yañez, 2010). En cuanto al incremento de N, P, K, Ca y Fe, se postula que se debió a la biosíntesis de las moléculas por la acción microbiana, que le dieron su característica de biofertilizante al biol, pues los microorganismos del consorcio, encontraron en el biocarbón, un hábitat especial, atribuido según Quilliam *et al.* (2013), a su gran superficie adsorbente y el volumen de los poros.

La presencia de N, P y K, en el biol, que constituyen macrofertilizantes, que son la base de los fertilizantes modernos, solos o combinados, garantizan la efectividad del biofertilizante para su uso en la agricultura pues Qi *et al.* (2020), afirman que son los tres nutrientes esenciales necesarios para el crecimiento de las plantas.

INTERVENCIÓN DE LA P₂ CON BIOCARBÓN ENRIQUECIDO Y ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

Los datos de las características físico químicas del suelo de la P₂, después de la intervención con el biocarbón obtenido de las cáscaras de las semillas del fruto de la palma aceitera, conocidos como cuescos, el cual fue tratado mediante su inmersión en biol de vacaza, se muestran a continuación en la Tabla 7.

Características	Valor	
	Antes	Después Intervención
Físicas		
pH	4,85	5,41
Conductividad Eléctrica CE (dS/m)	0,03	0,21
Materia Orgánica (%)	1,00	2,00
Químicas		
Fósforo P (ppm)	1,90	16,00
Potasio K (ppm)	108,00	140,00
Capacidad de Intercambio Catiónico CIC (meq/100 g)	5,44	6,72
Boro B (ppm)	0,18	0,00
Cobre Cu (ppm)	0,75	4,40
Fierro Fe (ppm)	477,00	1 452,80
Manganoso Mn (ppm)	4,40	22,84
Zinc Zn (ppm)	7,75	185,20
Plomo Pb (ppm)	10,81	12,24
Cadmio Cd (ppm)	0,70	0,54
Cromo Cr (ppm)	9,03	5,47
Cationes Cambiables (meq/100 g)		
Calcio-Ca ⁺²	1,15	2,43
Magnesio-Mg ⁺²	0,60	0,68
Potasio-K ⁺	0,29	0,21
Sodio-Na ⁺	0,11	0,06
Aluminio+Hidrógeno-Al ⁺³ + H ⁺	0,25	0,10
Suma de cationes	2,41	3,48
Suma de bases	2,16	3,38
% Saturación de Bases	40,00	50,00

Tabla 7: Características físico químicas del suelo de la P₁ y de la P₂ intervenida con biocarbón enriquecido en vacaza.

Fuente: Elaboración propia con datos reportados por el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes, Universidad Nacional Agraria La Molina, (2019).

Según la FAO (2022), el pH, que se define como el potencial de hidrógeno, es responsable del nivel de adsorción de iones H⁺ por partículas del suelo y determina si es ácido o básico, y, está estrechamente relacionado con la CIC del suelo, que indica la cantidad de cargas negativas de las superficies de los minerales, arcillas, materia orgánica y material húmico que contiene el suelo y a su vez representa la cantidad de cationes que dichas superficies pueden retener (Ca, Mg, Na, K, NH₄, etc.); observándose que el pH y la CIC del suelo intervenido, se incrementaron, debido probablemente a la captación por adsorción de los aniones, disminuyendo su presencia e incrementando los cationes en el

suelo como P, K, Ca, Mg, Zn, Fe y Mn (Yin *et al.* 2022), que se vio incrementado por las características físico químicas del biocarbón tratado con biol; pues el pH bajo que mostró el suelo, le otorgó cargas positivas por reacciones de protonación, lo que en consecuencia aumentó la atracción electrostática entre la superficie del biocarbón y los iones cargados negativamente como nitratos y nitritos (Chintala *et al.*, 2013). Campillo y Sadzawka (2006), manifiestan que cuando disminuye la acidez, se produce el aumento de la CIC, lo que le permite al suelo atraer mayor cantidad de cationes; y, consecuentemente, asegurar el depósito de nutrientes disponibles para las plantas. El incremento de K en el suelo, también se explica, porque el biocarbón tratado con biol, mejora su disponibilidad al potenciar la actividad de bacterias del género *Azotobacter* y *Pseudomonas* (Zhang *et al.*, 2022).

Otro postulado interesante, atribuye a la materia orgánica su capacidad de quelatar metales como el aluminio, disminuyendo la posibilidad de fijación de elementos como el fósforo ni permitiendo la ocupación de puestos de intercambio en el complejo de adsorción de los suelos (Daza *et al.*, 2006). El pH del suelo antes de la enmienda correspondía a uno ácido, y Liu *et al.* (2016), manifiestan que la aplicación de biocarbón a este tipo de suelos, incrementa la mineralización de carbono orgánico por parte de los microorganismos; pues el biocarbón tratado con biol, incrementó el contenido de N, proporcionó espacios porosos lleno de agua, que fueron factores clave que influyeron en las composiciones de la comunidad de bacterias nitrificantes, denitrificantes (Shi *et al.* 2022a) y coprotróficas (Duan *et al.* 2022); pues el biocarbón tratado con biol, presentó un pH neutro, que tuvo un efecto encalante (Chintala *et al.* 2014), y, adicionalmente, nutrientes absorbidos y adsorbidos del fertilizante, favoreciendo la actividad microbiana (Yan *et al.* 2021), lo cual beneficia en el largo tiempo, al desarrollo de las plantas.

En cuanto al incremento del N y P del suelo, como efecto directo de la aplicación del biocarbón tratado con biol, Apori *et al.* (2021), demostraron que, usando biocarbón coaplicado con 5 t ha⁻¹ de estiércol de granja y NPK, lograron aumentar significativamente el pH del suelo, el N total, el P disponible, el C orgánico total y la CIC efectiva, pudiendo constituirse en una estrategia de recuperación eficaz para mejorar los suelos poco fértiles en los trópicos. Corroboran los resultados obtenidos, Zheng y Sharma (2020), que luego de la aplicación de biocarbón más un fertilizante nitrogenado, lograron en el suelo, un alto nivel de P disponible, indicando así, que el uso de biocarbón como enmienda del suelo, permite una alta retención de nutrientes en su interior, por lo cual puede mejorar su calidad, aumentando la MO, el pH y la CIC.

Los beneficios de la aplicación al suelo de biocarbón junto con fertilizantes orgánicos, ya ha sido estudiado por autores como Chen *et al.* (2022), y demostraron que la combinación de fertilizantes orgánicos más 3% de biocarbón en un cultivo de pitajaya

roja (*Hylocereus polyrhizus*), incrementaron el pH del suelo, el carbono orgánico total y los nutrientes disponibles como N, P y K. Asimismo, el biocarbón como fertilizante orgánico combinado con un portador microbiano se transforma en una combinación sinérgica y favorable para la disponibilidad de materia orgánica y promover la agricultura sostenible (Duan *et al.*, 2022).

El incremento muy notorio en los valores de Fe, Mn y Zn del suelo intervenido con biocarbón tratado con biol, se atribuye al aporte de estos minerales por parte del fertilizante que terminaron absorbidos y adsorbidos por el biocarbón, del cual migraron hacia el suelo, pues hay una excelente afinidad entre el Fe y el Zn por el biocarbón, tal como lo demostraron Yang *et al.* (2021), que prepararon un biocarbón funcional de restos de maíz activado con óxidos de Fe y Zn, para remover Cd de muestras de suelos, pero que adicionalmente lograron incrementar el pH, la CIC y el carbono orgánico disuelto (COD) en un suelo ácido, mientras que aumentaron el pH y el COD en el suelo alcalino.

Según Samoraj *et al.* (2022), el biocarbón aplicado al suelo tiene varias ventajas, como mejorar su estructura, su capacidad de absorción, la retención de nutrientes en su composición, su capacidad de retención de agua, inmovilizar los contaminantes (por absorción), reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y las pérdidas por lixiviación de nutrientes del suelo; y, al mismo tiempo estimula el crecimiento de las plantas (Haider *et al.*, 2022; Palviainen *et al.*, 2020).

De forma general, por los resultados obtenidos y por investigaciones similares, se puede asegurar que la aplicación de biocarbón es una práctica agrícola eficaz para mejorar la calidad del suelo, aumentar el rendimiento de los cultivos y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en los suelos (Shi *et al.* 2022b).

ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DEL FRIJOL CAUPÍ DE P₁ Y P₂

Para facilitar el análisis bromatológico de las semillas de frijol caupí, una vez secas, se molieron hasta obtener una harina integral, cuyas muestras fueron sometidas a un análisis nutricional, en los laboratorios de la empresa Natura Analítica SAC de la ciudad de Pucallpa, mostrando los datos obtenidos en la Tabla 8.

Parámetro	Unidades	Método	Resultados	
			P ₁	P ₂
Proteínas	%	Kjeldahl Method	32,40	35,50
Cenizas	%	Direct Method	4,21	4,26
Humedad	%	Air Oven	11,40	11,08
Carbohidratos	%	Indirect Method	49,88	47,04
Aceites y grasas	%	Soxhlet Method	2,11	2,12

Tabla 8: Composición nutricional de las harinas obtenidas de las semillas de frijol caupí cultivadas en P₁ y P₂.

Fuente: Elaboración propia con datos reportados por el Laboratorio de la empresa Natura Analítica SAC, (2019).

El efecto de la aplicación de biocarbón junto con fertilizantes orgánicos e inclusive sintéticos, a fin de promover la producción y mejorar la calidad de los alimentos, ha sido investigado en muchos cultivos, y, en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad considerada en la presente investigación, Rafael *et al.* (2019), prepararon biocarbón de restos de cáscara de maíz tierno, de ramas de árbol de mango y de cáscara de arroz, aplicado al suelo en dosis de 0,9% (peso/peso), en combinación con fertilizantes contenido N, P y K; obteniendo como resultados, un incremento significativo en el pH del suelo, mayor CIC y P disponible, como resultados de una mayor inducción de la actividad de las enzimas relacionadas con el ciclo P y un mayor rendimiento del caupí. Las diferencias con la investigación desarrollada, radica en las materias primas para fabricar el biocarbón, la dosis de biocarbón agregado al suelo fue de 1 kg m⁻² y el tipo de fertilizante (biol), pero los resultados obtenidos, son similares pues se incrementó el pH del suelo, la CIC, la disponibilidad del P y mayor rendimiento del grano de frijol.

También Salama *et al.* (2021) cultivaron frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), para lo cual fabricaron biocarbón de trozos de árboles cítricos, cuyas partículas de 200 mesh, fueron sumergidas en una solución de nitrato de potasio (KNO₃), los cuales fueron absorbidos en función de sus propiedades de adsorción y su estructura porosa, logrando un nanofertilizante cargado con nitrógeno (N) y potasio (K), cuya aplicación foliar a 20 mg L⁻¹, liberó en aproximadamente 15 días, el 88% y 80% de N y K respectivamente, con lo cual lograron mejorar significativamente los parámetros de crecimiento, el rendimiento, el contenido de minerales y el contenido total de fenoles y flavonoides de las semillas y hojas de las plantas. La ventaja de usar carbono en su forma nano, es que tiene una alta capacidad de absorción atribuida a su gran área superficial y numerosos grupos funcionales, adicionales a los poros formados (Liu *et al.*, 2019) en el proceso de pirólisis. La investigación difiere en el tipo de materia prima para la obtención del biocarbón y la forma de su tratamiento, pero hay coincidencia en lo que respecta al mismo tipo de planta empleada para medir los

efectos de los fertilizantes, en un mayor rendimiento y contenido de cenizas de los granos.

En la temática, Azeem *et al.* (2019), utilizaron en una rotación de cultivo de frijol (*Phaseolus spp.*) y trigo (*Triticum spp.*), biocarbón de bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) a 0%, 0,25% y 0,5% de carbono (C) equivalente, con adición de un fertilizante químico (23 kg N, 45 kg P y 25 kg K ha⁻¹), logrando incrementar el carbono orgánico del suelo (COS), el nitrógeno total (NT) y disminuir la densidad aparente del suelo, además con el biocarbón, mejoró significativamente la fijación de N₂ y aumentó el número de nódulos en las raíces, conduciendo a un incremento del rendimiento de las cosechas. Se establecen coincidencias en una de las especies vegetales utilizadas para medir el efecto de la biofertilización, el incremento del NT y rendimiento de las cosechas, pero difieren en el sistema de cultivo, la materia prima para fabricar el biocarbón y su tratamiento.

También Saxena *et al.* (2013), experimentaron el uso de una mezcla de suelo con biocarbón y *Bacillus sp.*, sembrando frijol francés (*Phaseolus vulgaris* var. Anupama), cuyos resultados mostraron que la adición de biocarbón al suelo influyó positivamente en el crecimiento y rendimiento general de las plantas, pero la inoculación con *Bacillus sp.*, permitió un mayor número de bacterias solubilizadoras de fosfato en la rizósfera de las plantas y porcentaje de contenido de N en los brotes. La investigación conducida, tiene coincidencias en la variedad vegetal utilizada para determinar la acción del fertilizante orgánico y el rendimiento de los granos en las plantas fertilizadas.

Así, Chen *et al.* (2022), cultivaron pitaya roja (*Hylocereus polyrhizus*), usando fertilizantes orgánicos más 3% de biocarbón, con lo cual lograron mejorar las cualidades dietéticas y nutricionales al reducir el contenido de azúcar, mejorar el contenido de proteína soluble y sólidos solubles. Hay diferencias en cuanto a la especie vegetal sometida a experimento, la dosis de biocarbón utilizada, pero hay coincidencia en el incremento del contenido de proteínas por efecto del biofertilizante.

Del mismo modo Zheng *et al.* (2021), comprobaron los efectos benéficos del uso de un fertilizante a base de biocarbón en una dosis de 0,75 t ha⁻¹, en el cultivo de maní en condiciones de estrés hídrico moderado (60-65% de Capacidad de Campo), cuyo mejoramiento en el rendimiento lo atribuyó al incremento en la altura del tallo principal, el área foliar, contenido de clorofila, tasa fotosintética y la absorción total de N y K, por lo cual recomendó la producción de maní en áreas áridas o semiáridas. La investigación difiere de la desarrollada, en el tipo de cultivo y las condiciones de campo, pero si hay coincidencias en los beneficios para la planta y el mejoramiento en el rendimiento de frutos.

Autores como Asfaw *et al.* (2019), estudiaron los efectos del biocarbón de cáscara de café en concentraciones de 0, 2,7, 5,4 y 16,2 g biocarbón kg⁻¹ suelo, inoculando semillas

de soja (*Glycine max* L. Merrill cv. Clark 63-K) con hongos micorrízicos arbusculares (AMF) y la aplicación de fertilizantes fosfatados en dosis de 0 y 9 mg P kg⁻¹ suelo, cuyos resultados mostraron una excelente colonización por los microorganismos de las raíces, mayor rendimiento de semillas, acumulación de P y fijación de N₂ en un suelo tipo Nitisol, mejorando sus propiedades químicas, demostrando que a través del uso combinado de biocarbón y fertilizante de P, sería una buena práctica agrícola para garantizar que los cultivos de soya obtengan un suministro adecuado de P para promover la nodulación y fijación de N₂ en suelos ácidos tropicales, para lograr una producción sostenible de soja a largo plazo. La no coincidencia entre las investigaciones, radica en que utiliza una materia prima diferente para fabricar el biocarbón y una planta oleaginosa para establecer el efecto del biofertilizante, en cuyos resultados si hay coincidencias, pues en ambos se presentó un mayor rendimiento de semillas, como mayor presencia de P y N, debido a la asociación del biocarbón con microorganismos benéficos.

La asociatividad de microorganismos con el biocarbón, para promover el mejoramiento del suelo, crecimiento y producción de plantas, ha sido estudiado por Yuan *et al.* (2021), que experimentaron el uso de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal con biocarbón de paja de mijo (*Panicum miliaceum*) en diferentes concentraciones y en macetas, para probar su efecto en la composición de la comunidad microbiana del suelo y la eficiencia del uso de nitrógeno del tomate (*Solanum lycopersicum*), demostrando que el biocarbón combinado con rizobacterias, puede mejorar la estructura de la comunidad microbiana del suelo y aumentar el rendimiento de las plantas del tomate, por efecto del uso eficiente del nitrógeno. La coincidencia radica en la aplicación del biocarbón, asociado con microorganismos.

Duan *et al.* (2022), manifiestan que es mucho más beneficioso, mezclar un fertilizante integrado con biocarbón de bagazo, que usar biocarbón o bagazo solos, pues mejora la diversidad bacteriana del suelo, particularmente al promover el metabolismo de las bacterias copiotróficas, el ciclo de nutrientes, el crecimiento de las plantas y las bacterias relacionadas con la inhibición de enfermedades.

Refuerzan lo indicado, Jaaf *et al.* (2022), que experimentaron en pimiento rojo (*Capsicum annuum* L.), varias dosis de biocarbón y cama de aves de corral como fertilizante, logrando con la combinación de 0,5% de biocarbón y 2% de cama de aves, un mejor resultado en lo que respecta a mayor altura de planta y diámetro de tallo, concluyendo que la aplicación de biocarbón solo, mejora el secuestro de carbono en los suelos, pero al no contener suficientes nutrientes vegetales disponibles, deben aplicarse junto con fertilizantes minerales o materiales orgánicos como el estiércol de aves, que es rico en nutrientes. Zheng y Sharma (2020), indican que estos resultados respaldan la idea de

que la aplicación combinada de biocarbón y fertilizantes, puede aumentar la retención de nutrientes en suelos fértiles y mejorar su absorción por las plantas, lo que genera efectos sinérgicos en los rendimientos agronómicos.

PARÁMETROS DE EXTRACCIÓN Y RENDIMIENTO DE PULPA PAPELERA DE VAINAS DEL FRIJOL CAUPÍ

La Tabla 9, muestra los parámetros determinados para la extracción de pulpa papelera a partir de las vainas del frijol caupí, procedentes de las parcelas P_1 y P_2 .

Parámetro	Valor/Cantidad/Unidad
Peso vainas empleado	25 g
Volumen de solución	500 mL
Proporción:	1:20
Reactivos (NaOH)	10%, 20% y 30%
Digestión (Temperatura)	100°C
Digestión (Tiempo)	0,5 h
Primer lavado	Agua destilada y manual hasta neutralidad
Blanqueado (Hipoclorito de sodio)	10%
Blanqueado (Tiempo)	24 h
Segundo lavado	Agua potable y manual hasta neutralidad
Batido (Tipo y Tiempo)	Mecánico por 1 min
Secado (Tipo y Tiempo)	Ambiente por 4 días

Tabla 9: Parámetros de obtención de pulpa papelera a partir de vainas de frijol caupí.

Fuente: Elaboración propia, (2021).

La relación utilizada de materia prima con respecto al volumen de solución de NaOH, correspondió a una proporción que permitió trabajar, en lo que respecta a la remoción, pues al estar bien secas las vainas de frijol caupí, mostraron cierta dificultad para hidratarse de modo rápido, y a su vez permitió la ebullición y liberación de los componentes diferentes a la celulosa, como hemicelulosas, lignina, azúcares solubles, colorantes, etc., que formaron parte de la composición del licor negro, y, coincidió con 1:20 usado por Tibolla *et al.* (2018), así como por Khawas y Deka (2016), pero difiere con Ibrahim *et al.* (2015) que empleó una relación de 1:10.

La concentración de NaOH, temperatura y el tiempo de cocción, son los parámetros más importantes, pues al involucrar reactivos químicos, calor y período de contacto, afectó de modo directo a los elementos constitutivos de las vainas del frijol, en especial a la celulosa, la hemicelulosa y principalmente, disolver la lignina, para separar las fibras de celulosa, proceso llamado digestión de la madera (Kumar *et al.*, 2021), pues se encuentra en las paredes celulares secundarias, juntamente con las hemicelulosas, formando una

matriz amorfa muy reticulada que secuestra las microfibrillas de celulosa (Costa *et al.*, 2021), y mantiene atrapadas las fibras de celulosa, las cuales son el producto principal de la industria papelera, por ello, se realizó la digestión alcalina, con ebullición por media hora a condiciones ambientales, coincidiendo en el uso de NaOH (8,5-10,5%), $98 \pm 2^\circ\text{C}$ y a presión atmosférica, pero con diferente materia prima y mayores tiempos (2,5-3,5 h) empleados por Marín *et al.* (2009), y también diferente a KOH al 5%, utilizado por Tibolla *et al.* (2018), 14% de NaOH a 162°C por 15 minutos (Bhardwaj *et al.*, 2019), 2% de NaOH (Pattnaik *et al.*, 2022) y NaOH más antraquinona, que otorga mayor resistencia a la pulpa (Kaur *et al.*, 2018), NaOH al 15% por 25 minutos (Sharma *et al.*, 2020). Con la temperatura de ebullición, se logró debilitar y ablandar los enlaces químicos de la lignina, apoyado por el álcali, logrando su separación de la celulosa y de los enlaces C-C en las láminas celulósicas medias (Xia *et al.* 2022), y, en segundo lugar, de las hemicelulosas. Según Shimizu *et al.* (2018) los tratamientos alcalinos con adición de peróxido de hidrógeno, reducen el contenido de lignina. El proceso de obtención de pulpa papelera, se hace eficiente, en función del éxito en la degradación de la lignina; pues este polímero es muy resistente al ataque químico y biológico, haciendo lento la descomposición de la madera (Janusz *et al.*, 2020); es responsable del mantenimiento de la estructura e integridad de la pared celular (Wang *et al.*, 2015) permitiendo la adherencia entre las fibras de celulosa.

El hipoclorito de sodio (NaOCl), utilizado como blanqueador, tiene la ventaja de ser un excelente agente oxidante y mantenerse estable a pH alto (básico), en el que ejerce una mayor limpieza (Trautmann *et al.*, 2021). En la extracción de pulpa papelera, también es común utilizar el clorito de sodio (NaClO₂) (Kassab *et al.*, 2020), peróxido de hidrógeno al 5% (Harini *et al.*, 2018) y a pH 9 (Rizwan *et al.*, 2021), dióxido de cloro (ClO₂) (Kaur *et al.*, 2018), con la finalidad de quitar la lignina solubilizada (Bajpai, 2018; Hart, 2019) y el color debido al licor negro que se observa en la pulpa extraída, mediante la oxidación o alteración de agrupaciones de la molécula de lignina, que absorben la luz, y los blanqueadores, pueden alterar los cromóforos que son sistemas de dobles enlaces conjugados que surgen en la lignina de las pulpas (Bajpai, 2018a). Otros investigadores han planteado una mezcla química con resultados prometedores, usando ácido hipocloroso, ozono y peróxido de hidrógeno, que permite obtener pulpas totalmente blanqueadas, de modo rápido, con menos consumo de energía, baja generación en el contenido de halógenos ligados orgánicamente y así efluentes aeróbicamente degradables por una menor carga de blanqueo (Ferro *et al.*, 2021; Kaur *et al.*, 2018; Sharma *et al.*, 2020), de allí su gran ventaja ambiental; beneficiando además con una mayor resistencia de la pulpa (Kaur *et al.*, 2018).

El lavado efectuado con agua destilada, tuvo el efecto de remover todos los componentes hidrosolubles de las muestras de las vainas de frijol caupí, pues su objetivo

principal según Bajpai (2018b), es eliminar la mayor cantidad posible de impurezas solubles con niveles mínimos de uso de agua dulce, y, se realiza a fin de recuperar compuestos químicos inorgánicos cuya compra eleva el costo, pero que en las fábricas kraft modernas, permite reutilizarlos entre 96-99%, también recuperar materia orgánica (lignina disuelta y carbohidratos) con lo cual se facilita la posterior deslignificación y/o blanqueo con oxígeno, reduciendo- los costos operativos, ayuda a eliminar material indeseable, como metales, brea y extractos de madera que podrían afectar los posteriores procesos, así como minimizar los impactos ambientales, y, obtener una pulpa limpia.

El batido de la pulpa, se realizó con la finalidad de permitir homogenizar el tamaño de las fibras y favorecer la formación de una masa de textura uniforme, que permitiese obtener un papel no muy rugoso, para lo cual se usó la licuadora a velocidad media por un tiempo de 1 minuto. El grado de batido, según Danielewicz y Surma-Ślusarska (2019), se determina mediante la pureza de Schopper-Riegler (SRF), o °SR, y que en pulpas a la sosa y kraft, deben batirse hasta una pureza de °SR superior a 35°. Es un índice muy útil para medir el valor del tratamiento mecánico (refinado) al que fue sometida la pulpa, así un valor de 25°SR, indica un patrón de microfibrillas de celulosa sueltas, mientras que a 30°SR, la pulpa muestra laminillas concéntricas, sucesivas y nanofisuras visibles, y, después de 35°SR, las pulpas kraft blanqueadas son heterogéneas (Sparnochia y Castro, 2019).

En cuanto al secado, este fue a la temperatura ambiental, requiriéndose cuatro días para completarse. Se están desarrollando investigaciones para aplicar el secado solar a materiales lignocelulósicos, como el desarrollado por Gurmesa *et al.* (2021), cuyos resultados indican que la energía solar es ideal para el secado de pulpa de bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), siendo la temperatura máxima alcanzada de secado de 52°C. Las industrias de la pulpa y papel que adaptan la energía solar, necesitan calor en rangos de temperatura de 127°C a 175°C para sus diferentes procesos y el vapor necesita alrededor de 500°C para la generación de energía cautiva, por ello se requieren de los colectores ETC y de sistemas de concentración de energía solar térmica LFR y PTC, que permiten aprovechar y generar energía cautiva, por ello las empresas convencionales, realizan el proceso de secado de la pulpa y el papel terminado, mediante cilindros que generan vapor (Kumar *et al.*, 2021).

Por su parte las Tablas 10 y 11, muestran los pesos y rendimientos obtenidos de la pulpa papelera de las vainas del frijol caupí de las parcelas P₁ y P₂, según los tratamientos aplicados, luego del proceso de extracción.

Repetición	Tratamiento					
	T ₁ (10% NaOH)		T ₂ (20% NaOH)		T ₃ (30% NaOH)	
	Peso (g)	Rendimiento (%)	Peso (g)	Rendimiento (%)	Peso (g)	Rendimiento (%)
1	8	32	7	28	7	28
2	8	32	8	32	7	28
3	9	36	8	32	7	28

Tabla 10: Peso y rendimientos de pulpa papelera obtenidos a partir de 25 g de vainas de frijol caupí de la parcela P₁.

Fuente: Elaboración propia, (2021).

Repetición	Tratamiento					
	T ₁ (10% NaOH)		T ₂ (20% NaOH)		T ₃ (30% NaOH)	
	Peso (g)	Rendimiento (%)	Peso (g)	Rendimiento (%)	Peso (g)	Rendimiento (%)
1	8	32	7	28	8	32
2	7	28	8	32	8	32
3	7	28	8	32	8	32

Tabla 11: Peso y rendimientos de pulpa papelera obtenidos a partir de 25 g de vainas de frijol caupí de la parcela P₂.

Fuente: Elaboración propia, (2021).

Los valores de rendimiento de las pulpas obtenidas, se encuentran muy cercanos a los obtenidos por Pattnaik *et al.* (2022), que a partir de caña de humedal (*Phragmites karka*), lograron un rendimiento de 35,1% de celulosa en peso. Resultados diferentes lo muestran Kaur *et al.* (2018), que usando soda y la soda antraquinona convirtieron la paja de arroz (*Oryza sativa*) en pulpa, con un rendimiento de 62,4%. En extracción de fibras de pulpa de bambú (*Bambusa vulgaris*) Stanislas *et al.* (2021), lograron 55,63%. También se ha explorado la obtención de pulpa papelera de restos de zanahoria (*Daucus carota*), pues Ramos-Andrés *et al.* (2021), determinaron un 60% de rendimiento. Residuos de tallos de pimiento rojo (*Capsicum annuum*) y chili o ají (*Capsicum frutescens*), haba (*Vicia faba*), espárragos (*Asparagus officinalis*), guisantes o arvejas (*Pisum sativum*) y okra o Quimbombó (*Abelmoschus esculentus*), fueron usados por Gonzalo *et al.* (2017), para extraer pulpa papelera, logrando rendimientos de 77,1%, 64,8%, 63%, 79,7%, 43% y 64,3% respectivamente. Por su parte Marín *et al.* (2009), experimentaron la obtención de pulpa papelera con Eulalia (*Misanthus giganteus*), obteniendo 78% de rendimiento. También la paja de trigo (*Triticum aestivum*), ha sido experimentado como materia prima para pulpa papelera por Jiménez *et al.* (1998), que lograron valores de 41,17% a 57,23% como rendimiento.

El rendimiento de pulpa papelera a partir de residuos de la vaina de frijol caupí, está en función directa de la composición química de los residuos vegetales, específicamente

de su alto contenido de holocelulosa, es decir de la fracción de celulosa+hemicelulosa de la materia prima, pues según Daud *et al.* (2013), que determinó en cáscaras de Yuca y vainas de mazorca de cacao 66% y 74% respectivamente de holocelulosa, por lo cual, este biopolímero, otorga un alto potencial para la industria de pulpa y papel. a partir de los residuos vegetales.

Sin embargo, Gonzalo *et al.* (2017), manifiestan que también el rendimiento está en función del proceso de pulpeado aplicado, el cual debe proporcionar las condiciones necesarias para obtener una suspensión de fibras de celulosa. Con respecto al tipo de procesos de pulpeado, los más adecuados para aprovechar los residuos agrícolas y la gran variedad de biomasa vegetal, están los semiquímicos de soda (Puitel *et al.*, 2015), y los de soda-antraquinona (Mousavi *et al.*, 2013).

ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) DE LOS PESOS EN g DE LA PULPA PAPELERA

Los resultados mostrados en la Tabla anterior, se sometieron a un Análisis de Varianza (ANOVA), usando el Diseño Completamente al Azar-DCA y el programa informático Statgraphics, versión 18. Los resultados del análisis se detallan en la Tabla 12.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	p-valor
Parcela	1	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000
Concentración NaOH	2	0,3333	0,1667	0,7500	0,4933
Parcela *Concentración NaOH	2	3,0000	1,5000	6,7500	0,0109
Residuo	12	2,6667	0,2222		
Total	17	6,0000			

Tabla 12: Análisis de varianza (ANOVA).
Fuente: Elaboración propia (2021).

El análisis de varianza de la Tabla 12, muestra los resultados de ajustar el modelo estadístico lineal general buscando relacionar el peso (rendimiento) de la pulpa papelera con los factores predictivos, pero dado que p-valor es mayor que 0,05 ($p>0,05$), no hay una relación estadísticamente significativa entre el peso (rendimiento) de pulpa papelera, y, las parcelas y la concentración de NaOH, con un nivel de confianza del 95,0%.

Es preciso mencionar que la tabla ANOVA para pulpa papelera, prueba la significancia estadística de cada factor conforme al modelo estadístico utilizado, y observamos que el p-valor más alto es 1,0000, que corresponde a las parcelas, y que al ser mayor que 0,05 (p-valor $> 0,05$), estadísticamente no es significativo con un nivel de confianza del 95,0%, por lo cual se concluye que el haber intervenido los suelos de las parcelas con biocarbón tratado con biol de vacaza, no causó efecto en el peso y rendimiento de la pulpa papelera.

Los resultados obtenidos, sobre los efectos del biocarbón tratado con biol de vacaza en los suelos y como promotor del crecimiento y producción del frijol caupí, y, por consecuencia del rendimiento de la pulpa papelera a partir de sus vainas, se explica porque, los beneficios de la enmienda, se produce a largo plazo (Basak *et al.*, 2022), pues el biocarbón puede actuar como fertilizante nutritivo de liberación lenta, luego de un tiempo mayor a 6 meses (Jílková y Angst, 2022); lo cual también ha sido demostrado por Aggangan *et al.* (2019), que aplicaron hongos micorrílicos arbusculares más biocarbón de bambú (*Bambusa vulgaris*) al 15%, de forma separada y juntos, en cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*), y, luego de 15 meses, observaron un mejor crecimiento de las plantas tratadas con sólo biocarbón y cuando se agregaron al biocarbón el cultivo fúngico, al 15%, lograron el mayor peso seco total de la planta, concluyendo que el agregar la enmienda, se puede mejorar el crecimiento general y pueden aumentar positivamente el rendimiento de las plantas de cacao.

Del mismo modo Palviainen *et al.* (2020), luego de 3 años de seguimiento, obtuvieron resultados satisfactorios de agregar biocarbón a un suelo para promover la producción de biomasa arbórea.

Un estudio conducido por Palviainen *et al.* (2020), también por 3 años, del efecto de la aplicación de enmiendas de biocarbón de abeto (*Abies alba*), en dosis de 5 y 10 t ha⁻¹ a la superficie de un suelo en bosques jóvenes de pino silvestre boreal (*Pinus sylvestris L.*), demostró que el tratamiento de 10 t ha⁻¹ de biocarbón, aumentó significativamente el crecimiento del diámetro de los árboles, en promedio en 1 mm año⁻¹, correspondiendo a un incremento del 25% en comparación con el control, y, el tratamiento de 5 t ha⁻¹, aumentó el crecimiento en altura de los árboles dominantes en 0,16 mm ó 12% en comparación con el control durante los 3 años.

También Zhang *et al.* (2022), experimentaron durante 4 años el efecto del biocarbón, concluyendo que tiene una respuesta positiva y a largo plazo, en el microambiente de suelos ácidos y en el crecimiento de cítricos.

Del mismo modo, An *et al.* (2022), llevaron a cabo un experimento de campo de 6 años para investigar cómo la sustitución parcial de biocarbón por fertilizantes NPK afecta la calidad del suelo y el rendimiento del arroz (*Oryza sativa*), demostrando que un reemplazo moderado de fertilizante NPK por biocarbón podría constituirse en una práctica efectiva para mejorar la calidad del suelo, aumenta el crecimiento y el rendimiento del arroz, y, además reduce el uso de fertilizantes químicos para la producción del cultivo de la gramínea.

El efecto del biocarbón, como promotor de biomasa vegetal, fue comprobado por Ahmad *et al.* (2022), que estudiaron la influencia de biocarbón obtenido de lodos de

tratamiento de aguas residuales municipales, en dosis de 25, 50 y 75%, en plantas de alholva (*Trigonella foenum-graecum*) y garbanzo (*Cicer arietinum*), demostrando efectivamente que la enmienda de biocarbón en el suelo al 25%, promovió la mejora de la comunidad microbiana del suelo, con lo cual mejoró la biomasa vegetal.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- La caracterización físico-química de los suelos de la P₁ y P₂ de la Comunidad Nativa de San Francisco, mostró los principales elementos fertilizantes: Materia orgánica (0,86% P₁ y 1% P₂), P (5,30 ppm P₁ y 1,90 ppm P₂), K (121 ppm P₁ y 108 ppm P₂), B (0 ppm P₁ y 0,18 ppm P₂), Cu (0,65 ppm P₁ y 0,75 ppm P₂), Fe (301 ppm P₁ y 477 ppm P₂), Mg (2,4 ppm P₁ y 4,4 ppm P₂) y Zn (16,1 ppm P₁ y 7,75 ppm P₂).
- Los cuecos de palma aceitera mostraron las principales características físico-químicas: pH (5,83), CE (2,91 dS/m), MO (90,87%), N (0,83%), P (0,32 ppm), K (0,61%), CaO (0,97%), MgO (0,32%), Na (0,02%), Fe (693 ppm), Cu (17 ppm), Zn (20 ppm), Mg (107 ppm) y B (13 ppm).
- Los parámetros determinados del proceso de carbonización mediante la técnica del PhilRice para fabricar biocarbón fueron: Temperatura de pirólisis (mínima = 159°C y máxima = 490°C), tiempo de pirólisis (mínima = 8 h y máxima = 12 h), rendimiento (33%).
- Las características físico-químicas que mostró el biol de estiércol vacuno, a los 63 días de fermentación anaeróbica fueron: pH (3,50), CE (9,19 dS/m), ST (39,03 g/L), MO en solución (33,16 g/L), N total (994 mg/L), P total (336,31 mg/L), K total (1 325 mg/L), Ca total (412,5 mg/L), Mg total (207,5 mg/L), Na total (220 mg/L), Fe total (1 895,25 mg/L), Zn total (1,11 mg/L), Mn total (27,25 mg/L) y B total (1,48 mg/L).
- La caracterización físico-química del biocarbón antes y después de ser tratado en biol de estiércol vacuno, mostró lo siguiente: pH (6,89 y 7,08), CE (0,78 y 2,12 dS/m), MO (79,06 y 72,5%), N (0,87 y 1,72), P₂O₅ (2,11 y 3,31%), K2O (1,16 y 1,33%), CaO (0,69 y 0,7%), MgO (0,75 y 0,7%), Fe (4 088 y 5383 ppm), Cu (39 y 38 ppm), Zn (61 y 60 ppm), Mn (658 y 715 ppm) y B (18 y 20).
- Las características físico-químicas del suelo degradado de la P₂ de la comunidad Nativa de San Francisco, después de la incorporación de biocarbón tratado en biol de estiércol vacuno, mostró los principales elementos fertilizantes: Materia orgánica (2%), P (16 ppm), K (140 ppm), Cu (4,4 ppm), Fe (1 452,8 ppm), Mg (22,84 ppm) y Zn (185,2 ppm).
- La caracterización bromatológica de las semillas de frijol caupí cultivado en suelos degradados no tratados y tratados con biocarbón con biol de estiércol vacuno, mostró lo siguiente: Proteínas (32,40% P₁ y 35,50% P₂), cenizas (4,21% P₁ y 4,26% P₂), humedad (11,40% P₁ y 11,08% P₂), carbohidratos (49,88% P₁ y 47,04% P₂) y aceites y grasas (2,11% P₁ y 2,12% P₂).
- Los parámetros del proceso de obtención y rendimiento de pulpa papelera a partir de las cáscaras del frijol caupí, determinados fueron: Proporción (peso

materia prima: volumen de solución = 1:20), concentración de NaOH (10%, 20% y 30%), temperatura de digestión (100°C), tiempo de digestión (0,5 h), % blanqueador (10% hipoclorito de Na), tiempo de blanqueado (24 h), tipo y tiempo de batido (mecánico por 1 min), tipo y tiempo de secado (ambiente por 4 días).

- El ligero incremento en los valores de las características nutricionales de los granos de frijol, cultivados con la enmienda del biocarbón tratado con biol de vacaza, está asociado con la mejora de las propiedades fisicoquímicas y bioquímicas del suelo, como consecuencia de la mejora de la microbiota del suelo, disminución de la acidez, al aumento de N, P, K y CIC disponible principalmente, y también a su capacidad de retención de agua por efecto del biocarbón, que no fue determinado en la investigación, pero que indudablemente contribuyó a las mejoras nutricionales de los granos.

RECOMENDACIONES

- Se debe establecer una investigación para determinar la cinética de absorción y adsorción de fertilizantes en el biocarbón a fin de optimizar el tiempo y el uso del volumen de biol de vacaza.
- Continuar con la evaluación de los suelos intervenidos con biocarbón tratado en biol de vacaza, ya que la bibliografía indica, que su actividad beneficiosa en el suelo y los cultivos se manifiesta y mantiene en el tiempo.
- Proponer investigaciones para experimentar otros parámetros de extracción, como otras materias primas, reactivos como hidróxido de K, procesos de extracción como la combinación del alcalino y el ácido, variar los tiempos de digestión, el tipo y tiempo de blanqueado.
- Determinar el contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina de las muestras de pulpa papelera obtenida.
- Las investigaciones futuras deben incluir experimentos de campo a largo plazo y estudios orientados a la fabricación de biocarbón a partir de otras materias lignocelulósicas, y, la gestión para minimizar la contaminación ambiental para optimizar el rendimiento del biocarbón para fines específicos de remediación del suelo, captura de carbono e incrementar rendimientos agrícolas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aggangan, NS; Cortes, AD; Reaño, C. E. 2019. Growth response of cacao (*Theobroma cacao* L.) plant as affected by bamboo biochar and arbuscular mycorrhizal fungi in sterilized and unsterilized soil. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 22, 101347.
- Agudelo Alvarez, BL. 2017. Estandarización de proceso de producción de carbón activado por activación física a partir de cuesco de palma a escala industrial (en línea). Tesis Ing. Qui. Bogotá, Colombia. Fundación Universidad de América. Consultado 13 feb. 2022. Disponible en <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6583/1/6112759-2017-2-IQ.pdf>.
- Aguilar Lara, DE. 2016. Sustitución del cemento con cenizas provenientes de la incineración del cuesco de la palma africana para la elaboración del hormigón (en línea). Tesis Ing. Civ. Quito, Ecuador. Universidad Central del Ecuador. Consultado 14 feb. 2022. Disponible en <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/8896/1/T-UCE-0011-258.pdf>.
- Aguilar, S., Ramírez, J., Malagón, O. 2007. Extracción de fibras no leñosas Cabuya (*Furcraea andina* Trel.) y banano (*Musa Paradisiaca* L.) para estandarizar un proceso tecnológico destinado a la elaboración de pulpa y papel. *Revista Iberoamericana de polímeros*, 8(2), 89-98.
- Ahmad, A; Chowdhary, P; Khan, N; Chaurasia, D; Varjani, S; Pandey, A; Chaturvedi, P. 2022. Effect of sewage sludge biochar on the soil nutrient, microbial abundance, and plant biomass: A sustainable approach towards mitigation of solid waste. *Chemosphere*, 287, 132112.
- An, N; Zhang, L; Liu, Y; Shen, S; Li, N; Wu, Z; Han, X. 2022. Biochar application with reduced chemical fertilizers improves soil pore structure and rice productivity. *Chemosphere*, 134304.
- Andrews, M; Raven, JA; Lea, PJ. 2013. Do plants need nitrate? The mechanisms by which nitrogen form affects plants. *Annals of applied biology*, 163(2), 174-199.
- Angulo Ruiz, WE. 2014. Crecimiento y productividad de la plantación de *Cedrelina catenaeformis* Ducke, establecida en diferentes condiciones de sitio, en suelo inceptisol en el Bosque Alexander Von Humboldt.
- Apori, SO; Byalebeka, J; Murongo, M; Ssekandi, J; Noel, GL. 2021. Effect of co-applied corncob biochar with farmyard manure and NPK fertilizer on tropical soil. *Resources, Environment and Sustainability*, 5, 100034.
- Arbildo Gonzales, GN. 2021. Efecto de la aplicación de gallinaza y microorganismos eficientes (EM) sobre algunas propiedades químicas y biológicas en un inceptisol de Pucallpa (en línea). Tesis Ing. Agr. Pucallpa, Perú. Universidad Nacional de Ucayali. Consultado 12 feb. 2022. Disponible en http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4950/B69_UNU_AGRONOMIA_2021_T_GELEN-ARBILDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Asfaw, E; Nebyiu, A; Bekele, E; Ahmed, M; Astatkie, T. 2019. Coffee-husk biochar application increased AMF root colonization, P accumulation, N₂ fixation, and yield of soybean grown in a tropical Nitisol, southwest Ethiopia. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 182(3), 419-428.
- Azeem, M; Hayat, R; Hussain, Q; Ahmed, M; Pan, G; Tahir, MI; Irfan, M. 2019. Biochar improves soil quality and N₂-fixation and reduces net ecosystem CO₂ exchange in a dryland legume-cereal cropping system. *Soil and Tillage Research*, 186, 172-182.

Bajpai, P. 2018a. Biermann's Handbook of Pulp and Paper (en línea). Raw Material and Pulp Making. Book. Volumen 1. Third Edition. India, Springer, Heidelberg. p. 465-491. Consultado 13 mar. 2022. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128142400000197>.

Bajpai, P. 2018b. Biermann's Handbook of Pulp and Paper (en línea). Pulp washing. Book. Volumen 1. Third Edition. India, Springer, Heidelberg. p. 389-406. Consultado 13 mar. 2022. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012814240000015X>.

Barbaro, L; Karlanian, M; Mata, D. 2014. Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para plantas. Presidencia de la Nación, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Argentina.

Basak, BB; Sarkar, B; Saha, A; Sarkar, A; Mandal, S; Biswas, JK; Bolan, N. S. 2022. Revamping highly weathered soils in the tropics with biochar application: What we know and what is needed. Science of the Total Environment, 153461.

Bhardwaj, NK; Kaur, D; Chaudhry, S; Sharma, M; Arya, S. 2019. Approaches for converting sugarcane trash, a promising agro residue, into pulp and paper using soda pulping and elemental chlorine-free bleaching. Journal of Cleaner Production, 217, 225-233.

Brady, NC; Weil, RR. 2008. The nature and properties of soils (Vol. 13, pp. 662-710). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Buchelli Gómez, HA. 2014. Producción de biofertilizante de bagazo de cebada, excretas de vacuno y suero de quesería mediante fermentación homoláctica (en línea). Tesis Ing. Amb. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Consultada 18 feb. 2022. Disponible en <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2335/F04-B919-T.pdf?sequence=1>.

Burbano Orjuela, H. 2018. El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. Revista de Ciencias Agrícolas, 35(1), 82-96.

Campillo, R; Sadzawka, A. 2006. La acidificación de los suelos. Origen y mecanismos involucrados. Serie Actas-Instituto de Investigaciones Agropecuarias.

Canché-Escamilla, G; los Santos-Hernández, D; Andrade-Canto, S; Gómez-Cruz, R. 2005. Obtención de celulosa a partir de los desechos agrícolas del banano. Información tecnológica, 16(1), 83-88.

Casas Vera, JH. 2014. Curva de absorción de nutrientes en la biomasa estacional del cultivo de camu camu (*Myrciaria dubia* HBK Mc Vaugh) en suelos de Yarinacocha (Pucallpa) (en línea). Tesis maestría, Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Consultado 12 feb. 2022. 73 p.

Conde Viñán, Mauricio, J; Delgado Lavanda, S. 2015. Efecto de la fertilización y del biocarbón en el almacenamiento del carbono en las especies maderables de Melina *Gmelina arborea* y Pachaco *Schizolobium parahybum*, en la zona sur de la Amazonía Ecuatoriana. Tesis de grado. Loja, Ecuador, Universidad Nacional de Loja. 69 p.

Colmenero-Flores, JM; Franco-Navarro, JD; Cubero-Font, P; Peinado-Torrubia, P; Rosales, MA. 2019. Cloruro como macronutriente beneficioso en plantas superiores: nuevas funciones y regulación. Revista Internacional de Ciencias Moleculares , 20 (19), 4686.

Costa, C; Medronho, B; Eivazi, A; Svanedal, I; Lindman, B; Edlund, H; Norgren, M. 2021. Lignin enhances cellulose dissolution in cold alkali. Carbohydrate Polymers, 274, 118661.

Cotes De la Hoz, LE. 2018. Evaluación de la influencia de la adición de ceniza del cuesco de palma africana en el comportamiento mecánico de mezclas asfálticas fabricadas con material laterítico (en línea). Tesis Maestría. Bogotá, Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Consultado 14 feb. 2022. Disponible en <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/79624/1082925312.2018.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.

Cruz-Hernández, J; Águila-Muñoz, JC; Rojano-Hernández, R; Morales-Jiménez, J. 2017. Digeridos de fermentación de estiércol: consideraciones para su recomendación en agricultura de traspatio. Agro Productividad, 10(7).

Cruz Nieto, D; Arias Rosales, L; Espinoza Montesinos, F; Ramírez Maldonado, J; Maguiña Aguirre, J; Espinoza Montesinos, E. 2019. Fertilización Foliar de Fósforo con sus diferentes dosis; para el rendimiento del cultivo de frijol castilla (*Vigna unguiculata* L.) en la provincia de Barranca. Aporte Santiaguino, 11(2), pág. 335-346. <https://doi.org/10.32911/as.2018.v11.n2.586>.

Chakraborty, T; Akhtar, N. 2021. Biofertilizers: Characteristic Features and Applications. Biofertilizers: Study and Impact, 429-489.

Chintala, R; Mollinedo, J; Schumacher, TE; Malo, DD; Julson, JL. 2014. Effect of biochar on chemical properties of acidic soil. Archives of Agronomy and Soil Science, 60(3), 393-404.

Chintala, R; Mollinedo, J; Schumacher, TE; Papiernik, SK; Malo, DD; Clay, DE; Gulbrandson, DW. 2013. Nitrate sorption and desorption in biochars from fast pyrolysis. Microporous and Mesoporous Materials, 179, 250-257.

Danielewicz, D; Surma-Ślusarska, B. 2019. *Miscanthusx giganteus* stalks as a potential non-wood raw material for the pulp and paper industry. Influence of pulping and beating conditions on the fibre and paper properties. Industrial Crops and Products, 141, 111744.

Daud, Z; Kassim, ASM; Aripin, AM; Awang, H; Hatta, MZM. 2013. Chemical 762 composition and morphological of cocoa pod husks and cassava peels for pulp and paper 763 production. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 7 (9), 406-411.

Daza, MC; Álvarez, JG; Rojas, LA. 2006. Efecto de materiales orgánicos e inorgánicos sobre las fracciones de fósforo de un Oxisol de los Llanos Orientales colombianos. Agronomía Colombiana, 24(2), 326-333.

Díaz Montoya, AJ. 2017. Características físicoquímicas y microbiológicas del proceso de elaboración de biol y su efecto en germinación de semillas (en línea). Tesis maestría. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Consultado 01 mar. 2022. Disponible en <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2792/F04-D5335-T.pdf?sequence=1>.

Duan, Y; Zhang, L; Yang, J; Zhang, Z; Awasthi, MK; Li, H. 2022. Insight to bacteria community response of organic management in apple orchard-bagasse fertilizer combined with biochar. Chemosphere, 286, 131693.

Edoziuno, FO; Adediran, AA; Odoni, BU; Utu, OG; Olayanju, A. 2021. Physico-chemical and morphological evaluation of palm kernel shell particulate reinforced aluminium matrix composites. Materials Today: Proceedings, 38, 652-657.

Enriquez Haro, JT. 2021. Los abonos orgánicos: ventajas y desventajas en los cultivos hortícolas de la costa ecuatoriana (en línea). Tesis Ing. Agr. Babahoyo, Los Ríos, Ecuador. Universidad Técnica de Babahoyo. Consultado 17 feb. 2022. Disponible en <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/9284/E-UTB-FACIAG-ING%20AGROP-000125.pdf?sequence=1&isAllowed=true>.

Espíndola Cáceres, JF. 2018. Obtención de bioles y biosoles a partir del lodo que se extrae de las eras de secado del Camal Municipal del Cantón Ambato (en línea). Tesis Ing. Bio.Am. Riobamba, Ecuador. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Consultado 27 feb. 2022. Disponible en <http://dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10535/1/236T0394.pdf>.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2002. Los Fertilizantes y Su USO una Guía de Bolsillo para los Oficiales de Extensión. Food & Agriculture Org.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2022. Portal de Suelos de la FAO (en línea, sitio web). Consultado 4 mar. 2022. Disponible en <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>.

Ferro, EI; Ruuttunen, K; Perrin, J; Vuorinen, T. 2021. Sustainable bleaching of Eucalyptus sp. kraft pulp with hypochlorous acid, ozone and hydrogen peroxide. Industrial Crops and Products, 172, 114004.

García, JA; Yañez, EE. 2010. Generación y uso de biomasa en plantas de beneficio de palma de aceite en Colombia. Revista Palmas, 31(2), 41-48.

Gómez Huanca, AM. 2018. Solucion nutritiva de biol a base de estiércol de cuy (*Cavia porcellus L.*) ovino (*Ovis aries*) y vacuno (*Bos taurus*) en la producción de forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) en puno (en línea). Tesis Ing. Agr. Puno, Perú. Universidad Nacional del Altiplano. Consultado 17 feb. 2022. Disponible en http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/11181/Gomez_Huasca_Ana_Magnolia.pdf?sequence=1&isAllowed=true.

Gómez Sánchez, F. 1990. Efecto de un abono orgánico sobre la producción de albahaca (*Ocimum sanctum L.*) y las propiedades físico-químicas de un suelo. Tesis Ing. Agr. Heredia, Costa Rica. Universidad Nacional de Costa Rica. 130 p.

Gonzalo, A; Bimbela, F; Sánchez, JL; Labidi, J; Marín, F; Arauzo, J. 2017. Evaluation of different agricultural residues as raw materials for pulp and paper production using a semicchemical process. Journal of Cleaner Production, 156, 184-193.

Guerra Laura, PA. 2015. Producción y caracterización de Biochar a partir de la biomasa residual de sistemas agroforestales y de agricultura convencional en la Amazonía Peruana (en línea). Tesis Ing. Amb. Lima, Perú. Universidad Agraria La Molina. Consultado el 15 feb. 2022. Disponible en <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/1895/Q70.G84-T.pdf?sequence=1&isAllowed=true>.

Guevara López, RL. 2019. Caracterización macronutricional y comparación de biol producido con estiércol de ganado vacuno y de gallina (en línea). Tesis Ing. For. y Amb. Jaén, Perú. Universidad Nacional de Jaén. Consultado 16 feb. 2022. Disponible en http://m.repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/128/1/Guevara_LRL_Alarc%C3%B3n_BAJ.pdf.

Gurmesa, M; Gopal, M; Ketema, E. 2021. Design of solar bagasse dryer (en línea). International Journal On Engineering Technology and Sciences – IJETS 8(3):2349-3976. Consultado 13 mar. 2022. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Mahesh-Gopal-2/publication/352401178_DESIGN_OF_SOLAR_BAGASSE_DRYER_A_case_study_of_Fincha_Sugar_Factory/links/60c86c78a6fdcc8267cf6d6e/DESIGN-OF-SOLAR-BAGASSE-DRYER-A-case-study-of-Fincha-Sugar-Factory.pdf.

Haider, FU; Coulter, JA; Liqun, CA. I; Hussain, S; Cheema, SA., Jun, WU; Zhang, R. 2022. An overview on biochar production, its implications, and mechanisms of biochar-induced amelioration of soil and plant characteristics. *Pedosphere*, 32(1), 107-130.

Harini, K; Ramya, K; Sukumar, M. 2018. Extraction of nano cellulose fibers from the banana peel and bract for production of acetyl and lauroyl cellulose. *Carbohydrate polymers*, 201, 329-339.

Hart, PW. 2019. Pulp Bleaching. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 1–30. doi:10.1002/0471238961.1621121613030415.a01.pub3.

Henriquez Guardado, FA. 2014. Comparación de calidad culinaria y del análisis bromatológico proximal de la especie *Phaseolus vulgaris* L. (Frijol común) variedad Chaparrastique y la importada de China. Tesis de grado. El Salvador, San Salvador, Universidad de El Salvador. 94 p.

Hernandez, J; Barbazan, M; Perdomo, C. 2010. Fagro. Recuperado de <http://www.fagro.edu.uy/~fertilidad/cursodocs/Potasio.pdf>.

Hernández Jiménez, Alberto; Cabrera Rodríguez, Adriano; Borges Benítez, Yenia; Vargas Blandino, Dania; Bernal Fundora, Andy; Morales Díaz, Marisol y Ascanio García, Miguel O. 2013. Degradación de los suelos Ferrálíticos Rojos Lixiviados y sus indicadores de la Llanura Roja de La Habana. *Cultivos Tropicales*, vol. 34, no. 3, pp. 45-51. ISSN 1819-4087.

Hernández Melgar, MA., Martínez Hernández, EG. 2016. Determinación de análisis bromatológico proximal y calidad culinaria de *Phaseolus vulgaris* L. (frijol común) grano negro criollo cultivado en la zona occidental de El Salvador. Tesis de grado. El Salvador, San Salvador, Universidad de El Salvador. 137 p.

Hirel, B; Krapp, A. 2021. Amino Acids Nitrogen Utilization in Plants I Biological and Agronomic Importance.

Hirel, B; Krapp, A. 2020. Nitrogen utilization in plants I Biological and agronomic importance.

Hirel, B; Le Gouis, J; Ney, B; Gallais, A. 2007. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. *Journal of experimental botany*, 58(9), 2369-2387.

Hugill, B. 2013. Carbón Biológico – Un Hogar Orgánico para Microbios del Suelo. ECHO. Florida, USA. Nota Técnica # 75. 5 p.

Ibrahim, MM; Abd-Eladl, M; Abou-Baker, NH. 2015. Lignocellulosic biomass for the preparation of cellulose-based hydrogel and its use for optimizing water resources in agriculture. *Journal of Applied Polymer Science*, 132(42).

Iglesias Abad, S; Alegre Orihuela, J; Salas Macías, C; Egüez Moreno, J. 2018. El rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) mejora con el uso del biochar de eucalipto. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 25-32.

Jaaf, SMMA; Li, Y; Günal, E; El Enshasy, HA; Salmen, SH; Sürütü, A. 2022. The impact of corncob biochar and poultry litter on pepper (*Capsicum annuum* L.) growth and chemical properties of a silty-clay soil. *Saudi Journal of Biological Sciences*.

Jácome, A. R; Peñarete, W; Daza, MC. 2013. Fertilización orgánica e inorgánica en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en suelo inceptisol con propiedades ándicas. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, (12), 59-67.

Janusz, G; Pawlik, A; Świderska-Burek, U; Polak, J; Sulej, J; Jarosz-Wilkołazka, A; Paszczyński, A. 2020. Laccase properties, physiological functions, and evolution. International journal of molecular sciences, 21(3), 966.

Jara-Samaniego, LJ; Gallegos-Núñez, JM; Cruz-Torres, MA. 2021. Elaboración y caracterización de bioles de residuos orgánicos. InterSedes, 22(45), 189-203.

Jílková, V; Angst, G. 2022. Biochar and compost amendments to a coarse-textured temperate agricultural soil lead to nutrient leaching. Applied Soil Ecology, 173, 104393.

Jiménez, L; De la Torre, MJ; Bonilla, JL; Ferrer, JL. 1998. Organosolv pulping of wheat straw by use of acetone-water mixtures. Process Biochemistry, 33(4), 401-408.

Kassab, Z; Abdellaoui, Y; Salim, MH; El Achaby, M. 2020. Cellulosic materials from pea (*Pisum sativum*) and broad beans (*Vicia faba*) pods agro-industrial residues. Materials Letters, 280, 128539.

Kaur, D; Bhardwaj, NK; Lohchab, RK. 2018. A study on pulping of rice straw and impact of incorporation of chlorine dioxide during bleaching on pulp properties and effluents characteristics. Journal of Cleaner Production, 170, 174-182.

Khawas, P; Deka, SC. 2016. Isolation and characterization of cellulose nanofibers from culinary banana peel using high-intensity ultrasonication combined with chemical treatment. Carbohydrate polymers, 137, 608-616.

Kumar, KR; Chaitanya, NK; Kumar, NS. 2021. Solar thermal energy technologies and its applications for process heating and power generation—A review. Journal of Cleaner Production, 282, 125296.

Leiva Trujillo, BF. 2018. Elaboración de biofertilizante a partir de estiércol de ganado vacuno y efluente del proceso de fermentación cervecera mediante fermentación homoláctica (en línea). Tesis Ing. Amb. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Consultado 27 feb. 2022. Disponible en <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3740/leiva-trujillo-brigitte-fabiola.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Liu, S; Zhang, Y; Zong, Y; Hu, Z; Wu, S; Zhou, JIE; Zou, J. 2016. Response of soil carbon dioxide fluxes, soil organic carbon and microbial biomass carbon to biochar amendment: a meta-analysis. Gcb Bioenergy, 8(2), 392-406.

Liu, X; Liao, J; Song, H; Yang, Y; Guan, C; Zhang, Z. 2019. A biochar-based route for environmentally friendly controlled release of nitrogen: urea-loaded biochar and bentonite composite. Scientific reports, 9(1), 1-12.

López, MA; Crespo, YA; López, GG; Quintana, YG; Abreu, LC; Martínez, IDLCC. 2015. Características de sustratos orgánicos acondicionados con biocarbón.: Influencia en la calidad de plantas de *Talipariti elatum* (Sw.) Fryxell cultivada en tubetes. Revista Cubana de Ciencias Forestales: CFORES, 3(1), 1.

Lozano Reátegui, RM; Alegre Orihuela, JC; Velazco Castro, EV; Magdaleno Mendoza Carlos, M; Nieto Iturri, W. G. 2021. Uso de biocarbón de cáscaras de semilla de palma aceitera enriquecido en biole de estiércol de vaca para mejorar suelos sobrepastoreados. TAYACAJA, 4(1), 35–50. <https://doi.org/10.46908/tayacaja.v4i1.151>.

Marín, F; Sánchez, JL; Arauzo, J; Fuertes, R; Gonzalo, A. 2009. Semichemical pulping of *Miscanthus giganteus*. Effect of pulping conditions on some pulp and paper properties. *Bioresource Technology*, 100(17), 3933-3940.

Medina, A; Quipuzco, L; Juscamaita, J. 2015. Evaluación de la calidad de biol de segunda generación de estiércol de ovino producido a través de biodigestores. In *Anales Científicos* (Vol. 76, No. 1, pp. 116-124). Universidad Nacional Agraria La Molina.

Mesinas, CM; Pintor, DA; Becerra, EV; Medina, AH. 2021. Estudio comparativo de biofermentos no enriquecidos y enriquecidos, obtenidos en digestores tipo batch y semi-continuos. *Revista de divulgación científica y tecnológica*. ISSN, 2444, 4944.

Mosquera, B. 2010. Abonos orgánicos, protegen el suelo y garantizan alimentación sana: manual para elaborar y aplicar abonos y plaguicidas orgánicos. Fondo para la Protección del Agua-FONAG. Ecuador.

Mousavi, SMM; Hosseini, SZ; Resalati, H; Mahdavi, S; Garmaroodi, ER. 2013. Papermaking potential of rapeseed straw, a new agricultural-based fiber source. *Journal of Cleaner Production*, 52, 420-424.

Palomares Cruz, DY. 2021. Análisis del nutriente vegetal fosforo en los suelos amazónicos del departamento del Caquetá (en línea). Tesis Ing. Agr. Florencia, Colombia. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Consultado 12 feb. 2022. Disponible en <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/43181/dypalomaresc.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Palviainen, M; Aaltonen, H; Laurén, A; Köster, K; Berninger, F; Ojala, A; Pumpanen, J. 2020. Biochar amendment increases tree growth in nutrient-poor, young Scots pine stands in Finland. *Forest Ecology and Management*, 474, 118362.

Panduro Tenazoa, NM; Vega-Jara, L; Ramírez Flores, N; Herrera Veramendi, RE. 2021. Absorción de nutrientes y metales pesados del cultivo de camu camu en un entisol de Yarinacocha (en línea). Huánuco, Perú. 60 p. Consultado 12 feb. 2022. Disponible en <https://www.unheval.edu.pe/portal/wp-content/uploads/2021/06/Panduro-Vega-Jara-Ramirez-Herrera-2021.pdf>.

Pattnaik, F; Nanda, S; Kumar, V; Naik, S; Dalai, AK. 2022. Isolation of cellulose fibers from wetland reed grass through an integrated subcritical water hydrolysis-pulping-bleaching process. *Fuel*, 311, 122618.

Peñafiel, W; Ticona, D. 2015. Elementos nutricionales en la producción de fertilizante biol con diferentes tipos de insumos y cantidades de contenido ruminal de bovino-matadero municipal de La Paz. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 2(1), 87-90.

Pérez, M; Moreda, C; Valdés, M. 2000. Plantas anuales. Fuente alternativa de fibra en la fabricación de papel. In *Congreso Iberoamericano de investigación en celulosa y papel*. La Habana. Cuba.

Pinedo-Panduro, M; Alves-Chagas, E; Paredes-Davila, E; Abanto-Rodríguez, C; Bardales-Lozano, R; Cardoso-Chagas, P; Ferreira-Melo, V; Collazos Saldaña, H; Panduro Tenazoa, N. 2020. Análisis de repetibilidad en una colección ex situ de camu-camu [*Myrciaria dubia* Kunh (McVaugh)] de la Amazonía peruana. *Ciencia Amazónica* (Iquitos), 8(2), 221 - 238. <https://doi.org/10.22386/ca.v8i2.299>.

Puitel, AC; Marin, N; Puiu, P; Gavrilescu, D. 2015. Lignocellulosic agricultural residues—a virgin fibre supply solution for paper-based packaging. *Cellulose Chemistry and Technology*, 49, 633-639.

Qi, G; Pan, Z; Andriamanohiarisoamanana, FJ; Yamashiro, T; Iwasaki, M; Ihara, I; Umetsu, K. 2020. Effect of solid–liquid separation on anaerobic digestion of dairy manure in semi-continuous stirred tank reactors: Process performance and digestate characteristics. *Animal Science Journal*, 91(1), e13393.

Qian, K; Kumar, A; Zhang, H; Bellmer, D; Huhnke, R. 2015. Avances recientes en la utilización de biocarbón. *Revisiones de energía renovable y sostenible*, 42, 1055-1064.

Qin, C; Wang, H; Yuan, X; Xiong, T; Zhang, J; Zhang, J. 2020. Comprender la correlación estructura-rendimiento de los materiales de biocarbón en la remediación ambiental y los dispositivos electroquímicos. *Revista de ingeniería química* , 382 , 122977.

Quilliam, RS; Glanville, HC; Wade, SC; Jones, DL. 2013. Life in the ‘charosphere’—Does biochar in agricultural soil provide a significant habitat for microorganisms?. *Soil Biology and Biochemistry*, 65, 287-293.

Quihue Cabezas, J.G. Obtención de fibras a partir del raquis de plátano para producir pulpa de papel. 2014. Tesis de grado. Ayacucho, Perú, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. 108 p.

Rafael, RBA; Fernández-Marcos, ML; Cocco, S; Ruello, ML; Fornasier, F; Corti, G. 2019. Benefits of biochars and NPK fertilizers for soil quality and growth of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) in an acid Arenosol. *Pedosphere*, 29(3), 311-333.

Rahman, ZA. 2010. El papel del fósforo en el desarrollo sostenible de la palma de aceite (*Elaeis guineensis*, Jacq.): producción en suelos tropicales. *Revista Palmas*, 31(especial,), 205-218.

Ramos-Andrés, M; Aguilera-Torre, B; García-Serna, J. 2021. Hydrothermal production of high-molecular weight hemicellulose-pectin, free sugars and residual cellulose pulp from discarded carrots. *Journal of Cleaner Production*, 290, 125179.

Reátegui, R.M.L; Orihuela, J.C.A; Castro, E.V.V; Carlos, M.M.M., Iturri, W.G.N. 2021. Biocarbón de cáscaras de semilla de palma aceitera enriquecido en biol de estiércol para mejorar suelos sobre pastoreados. *Llamkasun*, 2(2), 15-37.

Reyes, ÓES; Arboleda, MG; Trujillo, FLV. 2011. Efecto del uso de melaza y microorganismos eficientes sobre la tasa de descomposición de la hoja de caña (*Saccharum officinarum*). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 2(2), 13-19.

Rico, C; Rico, JL; Tejero, I; Muñoz, N; Gómez, B. 2011. Digestión anaeróbica de la fracción líquida de estiércol de lechería en planta piloto para la producción de biogás: rendimiento de metano residual del digestato. *Gestión de residuos* , 31 (9-10), 2167-2173.

Rizwan, M; Gilani, SR; Durrani, AI; Naseem, S. 2021. Cellulose extraction of *Alstonia scholaris*: A comparative study on efficiency of different bleaching reagents for its isolation and characterization. *International Journal of Biological Macromolecules*, 191, 964-972.

Rivera, JC. 2021. Efecto de enmiendas con biocarbones sobre propiedades físicas, químicas y Fitoabsorción de Cadmio en suelos disímiles sembrados con lechuga (en línea). Tesis Maestría. Bogotá, Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Consultado 14 feb. 2022. Disponible en <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/80523/1022338457.2021.pdf?sequence=2>.

Rodríguez Vera, JF. 2018. Evaluación del contenido de minerales tóxicos en zanahoria (*Daucus carota*) y tres variedades de papa (*Solanum tuberosum*) del Valle del Mantaro (en línea). Tesis Ing. Ali. Huancayo, Perú. Universidad Nacional del Centro del Perú. Consultado el 15 feb. 2022. Disponible en <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4788/Rodriguez%20Vera.pdf?sequence=1>.

Romero Millán, LM; Cruz Domínguez, MA; Sierra Vargas, FE. 2016. Efecto de la temperatura en el potencial de aprovechamiento energético de los productos de la pirólisis del cuesco de palma. *Tecnura*, 20(48), 89-99.

Rusnani AM; Ma AN. 1999. Properties of boiler fly ash from various palm oil mills. *porim Bulletin* 38.

Salama, DM; Abd El-Aziz, ME; El-Naggar, ME; Shaaban, EA; Abd EL-Wahed, MS. 2021. Synthesis of an eco-friendly nanocomposite fertilizer for common bean based on carbon nanoparticles from agricultural waste biochar. *Pedosphere*, 31(6), 923-933.

Saleem, MH; Ali, S; Rehman, M; Rana, MS; Rizwan, M; Kamran, M; Liu, L. 2020. Influence of phosphorus on copper phytoextraction via modulating cellular organelles in two jute (*Corchorus capsularis* L.) varieties grown in a copper mining soil of Hubei Province, China. *Chemosphere*, 248, 126032.

Samoraj, M; Mironiuk, M; Witek-Krowiak, A; Izydorczyk, G; Skrzypczak, D; Mikula, K; Chojnacka, K. 2022. Biochar in environmental friendly fertilizers-Prospects of development products and technologies. *Chemosphere*, 133975.

Saxena, J; Rana, G; Pandey, M. 2013. Impact of addition of biochar along with *Bacillus* sp. on growth and yield of French beans. *Scientia Horticulturae*, 162, 351-356.

Sharma, N; Tripathi, SK; Bhardwaj, NK. 2020. Utilization of sarkanda for making pulp and paper using elemental chlorine free and total chlorine free bleaching processes. *Industrial Crops and Products*, 149, 112316.

Shi, Y; Liu, X; Zhang, Q; Li, Y. 2022a. Contrasting effects of biochar-and organic fertilizer-amendment on community compositions of nitrifiers and denitrifiers in a wheat-maize rotation system. *Applied Soil Ecology*, 171, 104320.

Shi, Y; Liu, X; Zhang, Q; Li, G; Wang, P. 2022b. Biochar rather than organic fertilizer mitigated the global warming potential in a saline-alkali farmland. *Soil and Tillage Research*, 219, 105337.

Shimizu, FL; Monteiro, PQ; Ghiraldi, PHC; Melati, RB; Pagnocca, FC; de Souza, W; Brienz, M. 2018. Acid, alkali and peroxide pretreatments increase the cellulose accessibility and glucose yield of banana pseudostem. *Industrial crops and products*, 115, 62-68.

Sparnochia, L; Castro, MA. 2019. Cell wall changes caused by refining in fibre of *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden bleached kraft pulp: a ultra-and nano-structural approach. *Wood Science and Technology*, 53(4), 911-925.

Stanislas, TT; Tendo, JF; Teixeira, RS; Ojo, EB; Komadja, GC; Kadivar, M; Junior, HS. 2021. Effect of cellulose pulp fibres on the physical, mechanical, and thermal performance of extruded earth-based materials. *Journal of Building Engineering*, 39, 102259.

Suquilanda, M. 1996. Agricultura orgánica, alternativa tecnológica del futuro. Fundagro, Quito.

Tibolla, H; Pelissari, FM; Martins, JT; Vicente, AA; Menegalli, FC. 2018. Cellulose nanofibers produced from banana peel by chemical and mechanical treatments: characterization and cytotoxicity assessment. *Food Hydrocolloids*, 75, 192-201.

Trautmann, E; Attin, T; Mohn, D; Zehnder, M. 2021. Hydrogen peroxide versus sodium hypochlorite: all a matter of pH?. *Journal of endodontics*, 47(2), 297-302.

Useche, YM; Valencia, H; Pérez, H. 2004. Caracterización de bacterias y hongos solubilizadores de fosfato bajo tres usos de suelo en el sur del trapezio amazónico. *Acta Biológica Colombiana*, 9(2), 129-130.

Ushñahua, L. Q., Quispe, W. B., & Cruz, O. T. (2011). Evaluación de la calidad de biogas y biol a partir de dos mezclas de estiércol de vaca en biodigestores tubulares de PVC. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 14(27).

Valarezo, C; Villamagua, MA; Mora, RM; Maza, H; Wilcke, W; Nieto, C. 2017. Respuesta del pachaco (*Schizolobium parahybum* vell. conc) y la melina (*Gmelina arborea* roxb.) a la aplicación de biocarbón y fertilización en el sur de la Amazonía Ecuatoriana. *Bosques Latitud Cero*, 6(1).

Wang, J; Feng, J; Jia, W; Chang, S; Li, S; Li, Y. 2015. Lignin engineering through laccase modification: a promising field for energy plant improvement. *Biotechnology for biofuels*, 8(1), 1-11.

Xia, Y; Liu, Q; Hu, X; Li, X; Huang, Y; Li, W; Ma, L. 2022. Structural evolution during corn stalk acidic and alkaline hydrogen peroxide pretreatment. *Industrial Crops and Products*, 176, 114386.

Yan, T; Xue, J; Zhou, Z; Wu, Y. 2021. Biochar-based fertilizer amendments improve the soil microbial community structure in a karst mountainous area. *Science of the Total Environment*, 794, 148757.

Yang, T; Xu, Y; Huang, Q; Sun, Y; Liang, X; Wang, L; Zhao, L. 2021. An efficient biochar synthesized by iron-zinc modified corn straw for simultaneously immobilization Cd in acidic and alkaline soils. *Environmental Pollution*, 291, 118129.

Yin, CY; Kadir, SASA; Lim, YP; Syed-Ariffin, SN; Zamzuri, Z. 2008. Una investigación sobre las características fisicoquímicas de la ceniza producida por la combustión de residuos de biomasa de palma aceitera en una caldera. *Tecnología de procesamiento de combustible*, 89 (7), 693-696.

Yin, S; Zhang, X; Suo, F; You, X; Yuan, Y; Cheng, Y; Zhang, Ch; Li, Y. 2022. Effect of biochar and hydrochar from cow manure and reed straw on lettuce growth in an acidified soil. *Chemosphere*, 297, 134191.

Yuan, WANG; Wenqing, LI; Binghai, DU; Hanhao, LI. 2021. Effect of biochar applied with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on soil microbial community composition and nitrogen utilization in tomato. *Pedosphere*, 31(6), 872-881.

Zhang, M; Riaz, M; Xia, H; Li, Y; Wang, X; Jiang, C. 2022. Four-year biochar study: Positive response of acidic soil microenvironment and citrus growth to biochar under potassium deficiency conditions. *Science of The Total Environment*, 813, 152515.

Zheng, J; Wang, S; Wang, R; Chen, Y; Siddique, KH; Xia, G; Chi, D. 2021. Ameliorative roles of biochar-based fertilizer on morpho-physiological traits, nutrient uptake and yield in peanut (*Arachis hypogaea* L.) under water stress. *Agricultural Water Management*, 257, 107129.

Zheng, W; Sharma, BK. 2020. Agronomic Effect of Combined Application of Biochar and Nitrogen Fertilizer: A Field Trial. Biorefinery of Inorganics: Recovering Mineral Nutrients from Biomass and Organic Waste, 301-310.

ANEXOS

ANEXO FOTOGRÁFICO



Transporte de cuescos de palma aceitera



Acopio de materia prima



Pirólisis de los cuescos de palma aceitera



Control de la temperatura de pirólisis



Molido del biocarbón



Biol diluido para tratar el biocarbón



Tratamiento del biocarbón con biol de vacaza

 <p>Aplicación de la enmienda al suelo</p>	 <p>Remoción del biocarbón tratado en el suelo de la parcela</p>	 <p>Siembra del frijol caupí</p>
 <p>Germinación de las semillas del frijo caupí</p>	 <p>Crecimiento de las plantas de frijol</p>	 <p>Parcela con las plantas de frijol caupí</p>
 <p>Inspección del desarrollo de las vainas</p>	 <p>Cosecha de las vainas</p>	 <p>Secado al sol de la vainas</p>  <p>Muestras de frijoles para el análisis bromatológico</p>



Vainas secas y cortadas



Digestión básica de los trozos de vainas



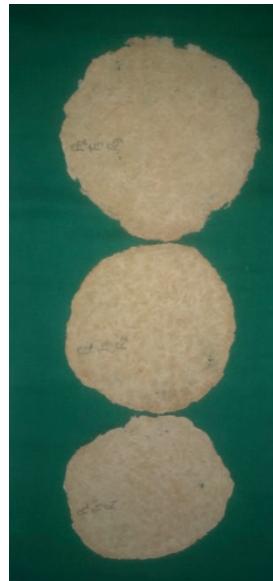
Blanqueado de la pulpa



Lavado de la pulpa blanqueada



Pulpa obtenidas por 3 tratamientos secándose en los marcos



Muestras de papel obtenidas a partir de vainas de frijol caupí

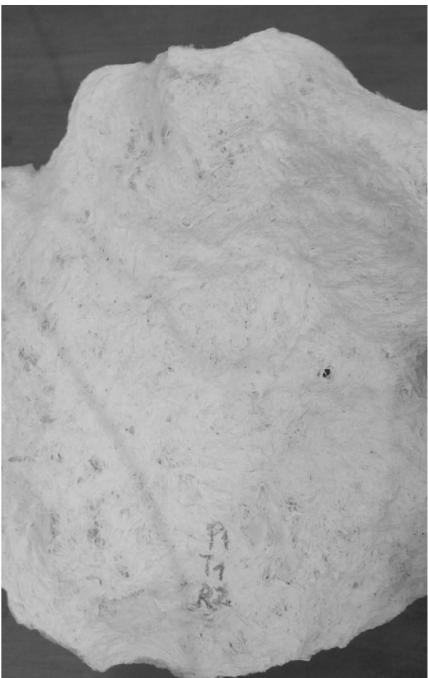
RONALD MARLON LOZANO REÁTEGUI - Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía (UNIA)-Ucayali. Ingeniero Agroindustrial - Maestro en Ciencias en Agroecología, mención en Gestión Ambiental (EPG UNAS-Tingo María) - Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (EPG-UNHEVAL-Huánuco). Docente Investigador RENACYT de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial- Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía (UNIA). Especializado en: Procesamiento de alimentos y no alimentos, proyectos agroindustriales, proyectos ambientales de revalorización de residuos agroindustriales. <https://orcid.org/0000-0002-0656-0792>

VITELIO ASENCIOS TARAZONA - Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía (UNIA)-Ucayali. Ingeniero Industrial - Maestro en Gestión de Proyectos (EPG UNHEVAL) - Con Post Grado en Ingeniería Agroindustrial (UNAS) y Doctorando en Administración (UNU-Ucayali). Docente Investigador RENACYT de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial- Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía (UNIA). Especializado en: Diseño de Procesos y Gestión de Operaciones Agroindustriales y Procesos de Aseguramiento de Calidad. <https://orcid.org/0000-0002-0253-3148>

ULISES LOZANO REÁTEGUI - Empresa Oficina de Informática y Servicios Especiales Orientados (ODISEO)-Tarapoto. Ingeniero de Sistemas (UCV-Tarapoto), experto en Nuevas Tecnologías de la Información y la Comunicación (NTIC) - Técnico en Computación e Informática - Maestría en Ciencias de la Educación, con mención en Docencia Universitaria. Con experiencia docente en EBR - Educación Básica Regular, y, Educación Superior Universitaria y No Universitaria. Experiencia en Educación (docencia y capacitación), Investigación, Proyectos Productivos y Tesis (asesoramiento, elaboración y ejecución), Construcción Civil (diseño de planos, trabajos de gabinete), asesoramiento en Hardware y Software, Análisis y diseño de sistemas, Diseño Gráfico, Software Educativo, Diseño de páginas web, Aficionado a proyectos de Electrónica. <https://orcid.org/0000-0001-8172-3873>

POTENCIAL AGROINDUSTRIAL DEL FRIJOL CAUPÍ:

Caracterización bromatológica y obtención de pulpa papelera de frijol caupí (*Vigna unguiculata*) cultivado en suelos degradados usando biocarbón tratado en biol de estiércol vacuno en San Francisco-Yarinacocha



- 🌐 www.atenaeditora.com.br
- ✉ contato@atenaeditora.com.br
- 📷 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
- ⬇ www.facebook.com/atenaeditora.com.br

POTENCIAL AGROINDUSTRIAL DEL FRIJOL CAUPÍ:

Caracterización bromatológica y obtención de pulpa papelera de frijol caupí (*Vigna unguiculata*) cultivado en suelos degradados usando biocarbón tratado en biol de estiércol vacuno en San Francisco-Yarinacocha



- 🌐 www.atenaeditora.com.br
- ✉ contato@atenaeditora.com.br
- 📷 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
- FACEBOOK www.facebook.com/atenaeditora.com.br