

UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN
ESCUELA DE POSGRADO
MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE



**EL BIOCARBÓN ENRIQUECIDO PARA LA PRODUCCIÓN
SOSTENIBLE DE SISTEMAS DE CULTIVOS EN UCAYALI**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: DESARROLLO SOSTENIBLE

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR EN MEDIO
AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

TESISTA: LOZANO REATEGUI, RONALD MARLON

ASESOR: DR. ALEJOS PATIÑO, ITALO WILE

HUÁNUCO – PERÚ

2023

DEDICATORIA

A **Dios**, quien ha hecho posible este trabajo, al darme la vida y todo lo que tengo, sin él nada somos.

A mi madre **Brigada**, por traerme a este mundo y haber guiado mis pasos por un claro sendero.

A mi esposa **Lía Nelly**, que, con su ejemplo de superación, lucha por la existencia y compañía de cada día, me ha impulsado a ser mejor ser humano.

A mis hijos, **Alejandro Marlon** y **Melody Ornella**, por ser los que continúen mis pasos hacia el futuro.

A mis hermanos **Ulises** y **Rossana**, compañeros filiales y soportes emocionales en días difíciles de lucha por forjarnos un mejor porvenir.

AGRADECIMIENTO

- Al **Instituto de la Pequeña Producción Sostenible - IPPS**, adscrito a la Universidad Nacional Agraria La Molina-Lima, pues el presente trabajo de investigación en un gran porcentaje, se desarrolló en el marco de un proyecto financiado por el instituto.
- Al **Dr. Mariano Magdaleno Mendoza Carlos**, por permitirme usar las instalaciones de su terreno, para realizar la fase experimental y apoyo en la fase estadística de la investigación.
- Al **Dr. Italo Willy Alejos Patiño**, por sus orientaciones en el asesoramiento eficiente para la ejecución y redacción del presente trabajo de investigación.
- Al **Dr. Julio César Alegre Orihuela**, docente principal del Departamento Académico de Suelos, Facultad de Agronomía, de la Universidad Nacional Agraria La Molina, por compartir su amplia experiencia al guiarme en el trabajo de campo.
- Al **Ing. Wilder Genry Nieto Iturri**, por su apoyo incondicional en la ejecución, cuidado y toma de datos experimentales en campo de las plantas seleccionadas en la investigación.
- Al **Ing. MSc. Vitelio Asencios Tarazona**, por su constante apoyo en el procesamiento de la información en el software estadístico.
- A todas las demás personas e instituciones que no están siendo citadas, pero que han tenido una importante contribución y apoyo a la presente investigación.

Mil gracias.

RESUMEN

El presente estudio, tuvo como objetivo, estudiar la influencia del biocarbón enriquecido para la producción sostenible de cultivos en Ucayali. Se utilizó un diseño experimental de Bloques Completos al Azar (DBCA), con 4 tratamientos (T_1 , T_2 , T_3 , y T_4), con 0 (control), 5, 10 y 15 t h^{-1} de biocarbón enriquecido en biol bovino respectivamente, designados en forma aleatoria con 3 réplicas (III bloques), en dos campañas de cultivos de maíz y frijol caupí, un cultivo rotacional, y, otro asociado. Los resultados demostraron la factibilidad de fabricar biocarbón, de cuescos de palma aceitera, mediante pirólisis con la técnica PhilRice de estilo abierto, con un rendimiento del 44%, y, la obtención de biol de excretas vacunas, por fermentación anaeróbica en 84 días, cuyos análisis químicos, mostraron N, P, K, otros nutrientes, y, características físicas adecuadas, que aumentaron en el biocarbón tratado con biol (enmienda), que lo hizo apropiado para uso agrícola; y, cuya aplicación al suelo, indicó efectos estadísticamente significativos en la D, el P, el Mg, y, la CIC, a un $P < 0,05$, y 95,0% de nivel de confianza; y, a nivel de los cultivos rotacionales, el maíz, mostró efectos estadísticamente significativos a un $P < 0,05$, y nivel de confianza del 95,0%, en peso de mazorca, rendimiento de grano por hectárea, ancho de grano, y, el frijol caupí, mostró efectos estadísticamente significativos a un $P < 0,05$, con 95,5% de nivel de confianza, en longitud de grano; y, como cultivos asociados, el maíz, mostró efectos estadísticamente significativos a un $P < 0,05$, y nivel de confianza del 95,0%, en longitud de mazorca, y, en rendimiento de grano por hectárea, y, sin efectos estadísticos en el cultivo de frijol caupí. Se concluye que el biol, mejora las características fertilizantes del biocarbón, enriqueciéndolo; que los suelos intervenidos con la enmienda, en diferentes dosis, mejoraron en la mayoría de sus características físicas y químicas, con incremento de D, pH, MO, C, N, P, K, Ca^{+2} , pero decremento de Mg y CIC; que la aplicación de diferentes dosis de la enmienda, tuvo efectos positivos en la fisiología, y, producción de plantas de maíz, y, frijol caupí, en forma rotacional, y, asociada, en su biometría, y, elementos nutricionales de los granos, en el orden de $T_2 > T_4 > T_3$.

Palabras clave: Pirólisis, fermentación anaeróbica, cultivo rotativo, cultivo asociado, rendimiento y características nutricionales.

ABSTRACT

The objective of this study was to study the influence of enriched biochar for the sustainable production of crops in Ucayali. An experimental design of Random Complete Blocks (DBCAs) was used, with 4 treatments (T1, T2, T3, and, T4), with 0 (control), 5, 10 and 15 t h⁻¹ of biochar enriched in bovine biol. respectively, designated randomly with 3 replicates (III blocks), in two campaigns of maize and cowpea beans, a rotational crop, and another associated. The results demonstrated the feasibility of manufacturing biochar, from oil palm pits, through pyrolysis with the open-style PhilRice technique, with a yield of 44%, and obtaining biol from bovine excreta, by anaerobic fermentation in 84 days, whose Chemical analyzes showed N, P, K, other nutrients, and adequate physical characteristics, which increased in the biochar treated with biol (amendment), which made it suitable for agricultural use; and, whose application to the soil, indicated statistically significant effects on D, P, Mg, and CIC, at $P < 0.05$, and 95.0% confidence level; and, at the level of rotational crops, maize, showed statistically significant effects at $P < 0.05$, and a confidence level of 95.0%, in ear weight, grain yield per hectare, grain width, and , cowpea bean, showed statistically significant effects at $P < 0.05$, with 95.5% confidence level, on grain length; and, as associated crops, maize, showed statistically significant effects at a $P < 0.05$, and 95.0% confidence level, in ear length, and, in grain yield per hectare, and, without statistical effects. in cowpea bean cultivation. It is concluded that biol improves the fertilizing characteristics of biochar, enriching it; that the soils intervened with the amendment, in different doses, improved in most of their physical and chemical characteristics, with an increase in D, pH, MO, C, N, P, K, Ca⁺², but a decrease in Mg and CEC ; that the application of different doses of the amendment, had positive effects on the physiology, and, production of maize plants, and, cowpea beans, in a rotational way, and, associated, in their biometry, and, nutritional elements of the grains, in the order of $T2 > T4 > T3$.

Keywords: Pyrolysis, anaerobic fermentation, rotary culture, associated culture, yield and nutritional characteristics.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi estudar a influência do biochar enriquecido para a produção sustentável de culturas em Ucayali. Foi utilizado um delineamento experimental de blocos completos casualizados (DBCA), com 4 tratamentos (T1, T2, T3 e T4), sendo 0 (controle), 5, 10 e 15 t h⁻¹ de biocarvão enriquecido em biol bovino, respectivamente, designados aleatoriamente com 3 repetições (blocos III), em duas campanhas de milho e feijão-caupi, uma cultura em rotação e outra associada. Os resultados demonstraram a viabilidade de fabricação de biocarvão, a partir de caroços de dendê, por meio de pirólise pela técnica PhilRice open-style, com rendimento de 44%, e obtenção de biol a partir de excretas bovinas, por fermentação anaeróbia em 84 dias, cujas análises químicas evidenciaram N, P, K, outros nutrientes, e características físicas adequadas, que aumentaram no biochar tratado com biol (alteração), o que o tornou adequado para uso agrícola; e, cuja aplicação no solo indicou efeitos estatisticamente significativos sobre D, P, Mg e CIC, em $P < 0,05$ e nível de confiança de 95,0%; e, no nível das culturas rotativas, o milho, apresentaram efeitos estatisticamente significativos em $P < 0,05$, e nível de confiança de 95,0%, no peso da espiga, produtividade de grãos por hectare, largura de grãos, e, feijão-caupi, apresentaram efeitos estatisticamente significativos em $P < 0,05$, com nível de confiança de 95,5%, para comprimento de grão; e, como culturas associadas, o milho, apresentaram efeitos estatisticamente significativos a um $P < 0,05$ e nível de confiança de 95,0%, no comprimento da espiga e, na produtividade de grãos por hectare, e, sem efeitos estatísticos, no cultivo do feijão-caupi. Conclui-se que o biol melhora as características fertilizantes do biochar, enriquecendo-o; que os solos intervencionados com a correção, em diferentes doses, melhoraram na maior parte das suas características físicas e químicas, com aumento de D, pH, MO, C, N, P, K, Ca⁺², mas diminuição de Mg e CIC; que a aplicação de diferentes doses do aditivo teve efeitos positivos na fisiologia e na produção das plantas de milho e feijão-caupi, de forma rotativa, e, associado, na sua biometria, e nos elementos nutricionais dos grãos, na ordem T2 > T4 > T3.

Palavras-chave: Pirólise, fermentação anaeróbica, cultura rotativa, cultura associada, rendimento e características nutricionais.

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT	v
RESUMO	vi
INTRODUCCIÓN	xiii
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	15
1.1. Fundamentación del problema.....	15
1.2. Justificación e importancia de la investigación.....	16
1.3. Viabilidad de la investigación.....	19
1.4. Formulación del problema	20
1.4.1. Problema general	20
1.4.2. Problemas específicos.....	20
1.5. Formulación de objetivos.....	20
1.5.1. Objetivo general	20
1.5.2. Objetivos específicos.....	20
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	22
2.1. Antecedentes de investigación.....	22
2.2. Bases teóricas.....	46
2.3. Bases conceptuales.....	53
2.4. Bases filosóficas.....	55
2.5. Bases epistemológicas	55
2.6. Bases antropológicas.....	56
CAPÍTULO III. SISTEMA DE HIPÓTESIS.....	57
3.1. Formulación de las hipótesis.....	57
3.1.1. Hipótesis general	57
3.1.2. Hipótesis específicas.....	57
3.2. Operacionalización de variables	58
3.3. Definición operacional de las variables	58

CAPÍTULO IV. MARCO METODOLÓGICO.....	63
4.1. Ámbito	63
4.2. Tipo y nivel de investigación.....	63
4.3. Población y muestra.....	63
4.3.1. Descripción de la población	63
4.3.2. Muestra y método de muestreo.....	64
4.3.3. Criterios de inclusión y exclusión	64
4.4. Diseño de investigación	65
4.5. Técnicas e instrumentos	67
4.5.1. Técnicas	71
4.5.2. Instrumentos	72
4.6. Técnica para el procesamiento y análisis de datos.....	73
4.7. Aspectos éticos.....	74
CAPÍTULO V. RESULTADOS	75
5.1. Análisis descriptivo.....	75
5.2. Análisis inferencial y/o contrastación de hipótesis	88
5.3. Discusión de los resultados	120
5.4. Aporte científico de la investigación	143
CONCLUSIONES	145
SUGERENCIAS	148
REFERENCIAS	149
ANEXOS.....	167

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Operacionalización de variables</i>	59
Tabla 2	<i>Descripción del diseño experimental de la investigación</i>	65
Tabla 3	<i>Diseño DBCA a utilizar en la investigación</i>	66
Tabla 4	<i>Técnicas de recojo, procesamiento y presentación de datos</i>	71
Tabla 5	<i>Definición operativa de instrumentos de recolección de datos</i>	72
Tabla 6	<i>Parámetros empleados en la fabricación de biocarbón y rendimiento</i>	75
Tabla 7	<i>Insumos y porcentajes utilizados en la formulación del biol</i>	75
Tabla 8	<i>Características físicas y químicas del biocarbón de cuescos de palma aceitera</i>	76
Tabla 9	<i>Características físicas y químicas del biocarbón enriquecido</i>	76
Tabla 10	<i>Caracterización física y química de los suelos antes de la aplicación del biocarbón enriquecido</i>	77
Tabla 11	<i>Caracterización física y química de los suelos después de la aplicación del biocarbón enriquecido</i>	78
Tabla 12	<i>Diferencias obtenidas en las características físicas y químicas de los suelos antes y después de la aplicación del biocarbón enriquecido</i>	79
Tabla 13	<i>Efecto de la aplicación de biocarbón enriquecido en la fisiología del maíz como cultivo único</i>	79
Tabla 14	<i>Efecto de la aplicación de biocarbón enriquecido en la producción de maíz como cultivo único</i>	80
Tabla 15	<i>Efecto de la aplicación de biocarbón enriquecido en las características biométricas del maíz como cultivo único rotacional</i>	81
Tabla 16	<i>Efecto de la aplicación de biocarbón enriquecido en la fisiología del frijol caupí como cultivo único</i>	81
Tabla 17	<i>Efecto de la aplicación de biocarbón enriquecido en la producción del frijol caupí como cultivo único rotacional</i>	82
Tabla 18	<i>Efecto de la aplicación de biocarbón enriquecido en las características biométricas del grano de frijol caupí como cultivo único rotacional</i>	83
Tabla 19	<i>Efecto de la aplicación de biocarbón enriquecido en la fisiología del maíz como cultivo asociado</i>	83

Tabla 20 <i>Efecto de la aplicación de biocarbón enriquecido en la producción de maíz como cultivo asociado</i>	84
Tabla 21 <i>Efecto de la aplicación de biocarbón enriquecido en las características biométricas del maíz como cultivo asociado</i>	85
Tabla 22 <i>Efecto de la aplicación de biocarbón enriquecido en las características nutricionales del maíz como cultivo asociado</i>	85
Tabla 23 <i>Efecto de la aplicación de biocarbón enriquecido en la fisiología del frijol caupí como cultivo asociado</i>	86
Tabla 24 <i>Efecto de la aplicación de biocarbón enriquecido en la producción del frijol caupí como cultivo asociado</i>	87
Tabla 25 <i>Efecto de la aplicación de biocarbón enriquecido en las características biométricas del frijol caupí como cultivo asociado</i>	87
Tabla 26 <i>Efecto de la aplicación de biocarbón enriquecido en las características nutricionales del frijol caupí como cultivo asociado</i>	88
Tabla 27 <i>Resumen del análisis de varianza de las características físicas y químicas de los suelos intervenidos con biocarbón enriquecido</i>	89
Tabla 28 <i>Resumen del análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en la fisiología del maíz como cultivo único rotacional</i>	93
Tabla 29 <i>Resumen del análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en la producción de maíz como cultivo único rotacional</i>	93
Tabla 30 <i>Resumen del análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en las características biométricas de los granos de maíz como cultivo único rotacional</i>	94
Tabla 31 <i>Resumen del análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en la fisiología del frijol caupí como cultivo único rotacional</i>	99
Tabla 32 <i>Resumen del análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en la producción del frijol caupí como cultivo único rotacional</i>	100
Tabla 33 <i>Resumen del análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en las características biométricas del frijol caupí como cultivo único</i>	101
Tabla 34 <i>Resumen del análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en la fisiología del maíz como cultivo asociado</i>	105

Tabla 35 <i>Resumen del análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en la producción de maíz como cultivo asociado</i>	106
Tabla 36 <i>Resumen del análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en las características biométricas del maíz como cultivo asociado</i>	107
Tabla 37 <i>Resumen del análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en las características nutricionales del maíz como cultivo asociado</i>	107
Tabla 38 <i>Resumen del análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en la fisiología del frijol caupí como cultivo asociado</i>	113
Tabla 39 <i>Resumen del análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en la producción del frijol caupí como cultivo asociado</i>	114
Tabla 40 <i>Resumen del análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en las características biométricas del frijol caupí como cultivo asociado</i>	114
Tabla 41 <i>Resumen del análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en las características nutricionales del frijol caupí como cultivo asociado</i>	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Efecto del biocarbón enriquecido en las características físicas y químicas de los suelos intervenidos</i>	90
Figura 2 <i>Efecto del biocarbón enriquecido en la fisiología del maíz como cultivo único</i>	95
Figura 3 <i>Efecto del biocarbón enriquecido en las características productivas del maíz como cultivo único rotacional</i>	97
Figura 4 <i>Efecto del biocarbón enriquecido en las características biométricas de los granos de maíz como cultivo único rotacional</i>	98
Figura 5 <i>Efecto del biocarbón enriquecido en la fisiología del frijol caupí como cultivo único rotacional</i>	102
Figura 6 <i>Efecto del biocarbón enriquecido en las características productivas del frijol caupí como cultivo único rotacional</i>	103
Figura 7 <i>Efecto del biocarbón enriquecido en las características biométricas de los granos de frijol caupí como cultivo único rotacional</i>	104
Figura 8 <i>Efecto del biocarbón enriquecido en la fisiología del maíz como cultivo asociado</i>	108
Figura 9 <i>Efecto del biocarbón enriquecido en la producción de maíz como cultivo asociado</i>	110
Figura 10 <i>Efecto del biocarbón enriquecido en las características biométricas de los granos de maíz como cultivo asociado</i>	111
Figura 11 <i>Efecto del biocarbón enriquecido en las características nutricionales de los granos de maíz como cultivo asociado</i>	112
Figura 12 <i>Efecto del biocarbón enriquecido en la fisiología del frijol caupí como cultivo asociado</i>	116
Figura 13 <i>Efecto del biocarbón enriquecido en las características productivas del frijol caupí como cultivo asociado</i>	117
Figura 14 <i>Efecto del biocarbón enriquecido en las características biométricas de los granos de frijol caupí como cultivo asociado</i>	118
Figura 15 <i>Efecto del biocarbón enriquecido en las características nutricionales del frijol caupí como cultivo asociado</i>	119

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la degradación del suelo es uno de los principales problemas ambientales, calificado de grave, puesto que los suelos son recursos naturales que requieren de un tiempo muy largo para formarse y, desde luego, para recuperarse. Un suelo se considera degradado, cuando muestra alteración de sus características biofísicas, y, bioquímicas, las cuales pueden ser inducidos por las actividades domésticas e industriales del hombre. Consideramos al suelo, como un recurso importantísimo para el sustento y desarrollo de la vida en el planeta, pues, de él se toman los nutrientes, el agua y minerales para el crecimiento de las plantas, que nos proporcionan oxígeno, y, alimento. Otro papel importante que desempeña, es de almacenar carbono, y, ser hábitat de una gran variedad de insectos, microorganismos, y, otros tipos de animales, muy necesarios para mantener el equilibrio del planeta.

Un suelo degradado muestra muy baja productividad biológica, por su carencia de materia orgánica, y, su actividad microbiana, limitando su capacidad fértil, que afectará de modo directo, el proceso de crecimiento vegetal. Existen muchos métodos y técnicas para recuperar los suelos, destacando una de fácil aplicación, y, otras ventajas, como es, la incorporación de una enmienda orgánica, la cual puede ser una mezcla de sustancias de carácter mineral u orgánico, que se agrega al suelo para lograr modificaciones beneficiosas de sus características físicas, químicas, y, sus procesos microbiológicos, que propicien el incremento de la retención del agua, la infiltración, la porosidad, y, llevar a la estabilidad de los nutrientes en el suelo.

En el presente estudio, se aprovechó los residuos sólidos orgánicos agroindustriales, conocidos como cuescos de palma aceitera, ya que son abundantes en la región de Ucayali, tienen bajo costo, y, están permanentemente disponibles, y, además, estiércol bovino, que también abundan en las empresas ganaderas de la región. Por sus características, de ser residuos ricos en material lignocelulósico, fueron ser tratados, antes de agregar al suelo, para eliminar sus efectos contaminantes. Razón, por la cual, para ser utilizados, como enmienda agrícola, fue necesario someterlos, en el caso de los cuescos, a un proceso de pirólisis, para convertirlos en biocarbón, y, al estiércol, a

un proceso de fermentación anaeróbica, para obtener biol, en el cual se sumergió el biocarbón, para obtener un fertilizante orgánico, rico en nutrientes asimilables por las plantas y aplicables al suelo sin riesgo de toxicidad, usando como medio eficaz de fijación, la microporosidad del biocarbón. Los efectos de la aplicación de las diferentes dosis de biocarbón, fueron determinados, usando cultivos de maíz, y, frijol caupí, tanto en forma rotacional, y, asociada, en los cuales se analizó, estadísticamente, en las plantas como cultivos únicos, sus características fisiológicas, y, productivas, y, en los granos, su biometría, y, en el cultivo asociado, las características nutricionales de las semillas.

Es por ello, que el presente estudio se organizó en cuatro capítulos. El CAPÍTULO I, describe el problema de investigación, y, comprende la fundamentación del problema, justificación e importancia, viabilidad, formulación de problema, y, formulación de los objetivos.

En el CAPÍTULO II, establece el marco teórico, incluyendo, antecedentes, bases teóricas, las bases conceptuales, bases filosóficas, bases epistemológicas, y, las bases antropológicas.

El CAPÍTULO III, comprende el sistema de hipótesis, que incluye la formulación de las hipótesis, la operacionalización de las variables, y, la definición operacional de las variables.

El CAPÍTULO IV, hace mención al marco metodológico, que incluye, el ámbito de la investigación, tipo y nivel de estudio, población y muestra, diseño de investigación, técnicas e instrumentos, técnica para el procesamiento y análisis de datos, y los aspectos éticos.

En el CAPÍTULO V, se muestran los resultados, el análisis descriptivo, análisis inferencial y contrastación de hipótesis, discusión de los resultados, y, el aporte científico de la investigación. Complementando la estructura de la tesis, están las conclusiones, sugerencias, referencias, y, los anexos.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Fundamentación del problema

La pérdida de nutrientes del suelo, como consecuencia directa de la agricultura intensiva, malas prácticas de cultivo (quema de plantas y rastrojos), y uso inadecuado del suelo (sobrepastoreo), tiene impactos en el cambio climático, causado por las emisiones de gases de efecto invernadero, y al disminuir la fertilidad del suelo, se pone en peligro la seguridad alimentaria de las personas, pues la creciente demanda de alimentos a nivel mundial, nacional, regional y local, cada día se incrementa, haciendo urgente la recuperación de suelos que han sido degradados por acción del pastoreo intensivo aplicando como enmienda, biocarbón de cuescos (cáscaras de semillas) de palma aceitera, que han sido transformados mediante pirólisis en biocarbón. El uso de biocarbón como enmienda de suelos, ya fue utilizado desde la antigüedad, pues según Lehmann y Joseph (2015), citados por Olmo (2015), ya desde 800 aC a 500 dC, las *Terras pretas* amazónicas, que según teorías, estos suelos se formaron por la deposición de material pirogénico producto de la quema de materiales vegetales, no combustibles como residuos de asentamientos humanos (restos de cerámicas, restos óseos de animales, etc.); otra teoría indicada por Arroyo-Kalin (2012), manifiesta el uso de la quema intencionada de bosques y maleza para la obtención de tierras de cultivo, es así como se genera la idea de quemar residuos orgánicos y agregarlos posteriormente al suelo para aumentar su fertilidad y la producción vegetal. Se indica que antes de ser aplicado al suelo el biocarbón, fue enriquecido en té de estiércol, elaborado de bosta de ganado vacuno, con insumos residuales como lactosuero, el cual se desecha en el proceso de fabricación de queso, residuos de jugo de caña de azúcar, cenizas de maderas, levaduras de mazato y agua de pozo. El enriquecimiento, se hizo sumergiendo el biocarbón, en el té por 10 días para que absorbiera y adsorbiera en su estructura microporosa, los nutrientes que se formaron en el té, por la digestión anaeróbica y microbiana. A fin de comprobar su efecto en los suelos degradados, se sembró maíz variedad INIA 616, obteniendo resultados satisfactorios. Los beneficios para las plantas en su fisiología y producción por incorporación del biocarbón, durante

tiempos relativamente prolongados ha sido manifestada por Schmidt *et al.* (2017), pues los resultados de 21 ensayos de campo revelaron sólidamente que la aplicación de biocarbón enriquecido en composta y orina de vaca en zonas radicales bajas, provocó incrementos sustanciales del rendimiento en suelos francos limosos en comparación con la fertilización orgánica tradicional y la fertilización mineral NPK o NPK-biocarbón, postulando la teoría de que el efecto portador de nutrientes del biocarbón, que provoca un comportamiento de liberación de nutrientes lento, flujos de nutrientes constantes y una reducción de las pérdidas de nutrientes. Por su parte Olmo (2015), al respecto reporta como resultados de su investigación aplicando biocarbón, redujo la densidad aparente y la compactación del suelo y aumentó su capacidad de retención hídrica, así como ejerció una gran influencia sobre la disponibilidad de nutrientes en el suelo, aumentando la disponibilidad de P, K, Ca, Mg y Cu, y reduciendo la de N. Adicionalmente, muchos autores señalan que el biocarbón, tiene una mayor actuación como mejorador de la estructura del suelo, y coinciden que aporta nutrientes y es un secuestrante de carbono, cuanto más tiempo tiene en el suelo, y por esta razón, planteamos el presente proyecto, orientado a investigar su comportamiento, utilizando maíz (*Zea mays*) y luego frijol caupí (*Vigna unguiculata*), ya que se han generado muchas interrogantes como: Cuál es la influencia del biocarbón enriquecido para promover la producción agrícola y hacerla sostenible; qué características físicas y químicas presenta el biocarbón enriquecido; cuál es la respuesta a la aplicación de biocarbón enriquecido al suelo, por parte de las plantas de maíz y frijol caupí en su fisiología, desarrollo y producción; y, en la temática de buscar alternativas a fin de impulsar la seguridad alimentaria, cuál es la calidad nutricional de las semillas producidas, es decir qué cantidad y calidad de proteínas, carbohidratos, vitaminas y minerales pueden presentar en su composición química, cuando son producidas bajo este sistema.

1.2. Justificación e importancia de la investigación

La investigación sirvió para probar la factibilidad de aprovechar los residuos de las semillas de palma aceitera convirtiéndolos mediante pirólisis en biocarbón, el cual enriquecido en un biol de estiércol, otro residuo de las empresas agropecuarias, como mejorador de suelos sobrepastoreados que hayan perdido su capacidad agrícola, pues

hoy se requiere incrementar la producción de alimentos de calidad, debido a la reducción que se ha generado de áreas de cultivos y al incremento de la desnutrición y la tasa poblacional local, regional, nacional y global, con los cuales se puede establecer sistemas sostenibles para la producción de cultivos e incrementar la cantidad y calidad de los productos de pan llevar, mediante tecnologías de fácil aplicación y entendimiento por los agricultores y demás personas interesadas en producir productos alimenticios.

El presente estudio se justifica en razón de que el problema mundial del hambre se acentúa con el crecimiento poblacional, y hoy en día lamentablemente todavía existen aproximadamente 1,4 millones de personas que no satisfacen la necesidad mínima de alimentos diariamente (FAO, 2017). A nivel nacional, en el Comercio se informaba que, a agosto 2017, el 13,1% de niños menores de 5 años, están afectados por desnutrición crónica, del cual el 26,5% pertenece a las zonas rurales y el 7,9% a áreas urbanas (Mauricio, 2017). En la región Ucayali, el problema también es grave pues en el primer trimestre del 2016, datos preliminares de la Encuesta Demográfica y de Salud Familiar – ENDES, manifestaba que el 54,3 por ciento de los niños de esta edad sufrían de anemia, y el 24 por ciento de los niños menores de cinco años padecían de desnutrición crónica (Inversión en la Infancia, 2016).

El cambio climático, está motivando a los investigadores, instituciones sin fines de lucro y a las académicas, a impulsar investigaciones a fin de garantizar el uso eficiente del agua, la cual será escasa en un futuro próximo, y al escasear dicho recurso, la agricultura puede llegar a colapsar, por ello se planteó la presente investigación que buscó evaluar la producción de maíz y frijol caupí en suelos degradados intervenidos con biocarbón enriquecido, con la influencia de tan solo el agua de las lluvias.

Existen limitadas investigaciones en el tema de las respuestas fisiológicas y productivas de los cultivos a la aplicación de biocarbón enriquecido a los suelos, y por ende cómo influye en la calidad nutricional de los frutos, existiendo un vacío en los conocimientos sobre el tema, por lo cual, en la presente investigación, se buscó cubrir

de cierta manera esta falta de conocimientos y sobre todo, el uso de tecnologías agrícolas accesibles y de fácil manejo para los agricultores.

Asimismo, planteamos la revaloración del concepto de suelo, pues se trata de un organismo vivo en donde se desarrollan fenómenos físicos, químicos y microbiológicos esenciales, no sólo para el crecimiento de los vegetales, sino para la propia vida en el planeta, pues en biología, se considera ser vivo a aquel que posea metabolismo propio, y el suelo, por poseerlo, debe ser tratado como tal (Rebolledo *et al.* 2016).

La importancia de la presente investigación, radica en que se experimentó y validó, alternativas de solución a los importantes problemas actuales que sufre la sociedad humana, como son la contaminación por residuos sólidos, mediante su transformación en productos útiles y el aumento del índice de desnutrición sobre todo infantil en la región, por la falta de alimentos con el consiguiente incremento de los precios de los mismos, que permitirán ampliar las áreas de cultivo y la producción de maíz y frijol caupí, alimentos que son producidos a baja escala en la región ucayalina. Además, desde el punto de vista técnico-científico, se aportó conocimientos nuevos en cuanto a otorgar valor agregado a residuos agroindustriales y agrícolas, así como a los beneficios de la aplicación del biocarbón cuya estructura proporcionó bajo la forma adsorbida y absorbida, nutrientes útiles para las plantas cultivadas, con los cuales los suelos degradados, pudieron ser aprovechados nuevamente para los cultivos, seleccionados en la presente investigación.

El reconocimiento del problema de la desnutrición en el país y la región Ucayali, se lo entiende como un asunto de interés público y una prioridad del gobierno central y regional, la cual apertura la búsqueda de compromisos y acciones efectivas que se plasmen en trabajos de investigación que ayuden a aliviar la situación que vive la niñez desnutrida, que es la población más vulnerable. Ante este panorama, es que vuelven a tomar importancia el maíz y frijol caupí, como productos principales de la dieta alimentaria ucayalina, ya que forman parte de la canasta básica de productos, estando el maíz y el frijol caupí ubicados en una posición ventajosa frente a los demás

alimentos, por ello la importancia de investigar el efecto del biocarbón enriquecido, como promotor del metabolismo de las plantas, la síntesis de elementos nutricionales que, aseguren la calidad de la alimentación de las personas.

Del mismo modo, fue importante realizar validaciones de acciones, estrategias e investigaciones, orientadas a recuperar los suelos degradados, para lo cual, se ha utilizado biocarbón, el cual muestra excelentes propiedades pues es un mejorador de las propiedades físicas (porosidad, infiltración de agua, estructura, entre otros), también como material de encalado ya que muchos biocarbones tienen valores de pH altos, así como tiene potencial en la captura de carbono en el suelo, sobre todo de suelos degradados que han perdido la materia orgánica que es básica en la fertilidad física del suelo (Rebolledo, 2016) elaborado a partir de cuescos de palma aceitera, el cual es un subproducto de esta industria, cuyas áreas de cultivo se siguen ampliando, pues a diciembre del 2017, la región Ucayali contaba con 40 mil hectáreas, de las cuales el 70% se encuentra en producción, es decir 28 mil hectáreas y los restantes 30% (12 mil hectáreas) están en pleno desarrollo (Gobierno Regional de Ucayali, 2017), y considerando que los cuescos representan un 5-7% (García y Yañez, 2010) de la biomasa residual total, se asegura que se tendrá de modo permanente un gran volumen de estos residuos en la región, que sin ningún tratamiento, generan problemas de contaminación ambiental.

1.3. Viabilidad de la investigación

La investigación fue viable en la tecnológico, en la obtención del material biológico (semillas), en las asesorías, acceso al terreno experimental, la cual, presentó dificultades, en virtud de que los cultivos, cuando se desarrollaron como rotacionales, primero se sembró el maíz (2017), luego el frijol caupí (2018), existiendo entre ellos un tiempo de ocho meses. Luego se presentó una disputa familiar por la tenencia del terreno (2019), que una vez solucionado, se trató de continuar con el cultivo asociado maíz-frijol caupí, pero se presentó la pandemia del Covid – 19, en su forma más agresiva (marzo 2020 a octubre 2021), dificultando la continuidad de la investigación, en la toma de datos de campo, para el análisis inferencial y la contrastación de hipótesis, es por ello que, se solicitó por segunda vez, la ampliación del plazo de la

inscripción del proyecto de tesis, a fin de continuar con el estudio, que finalmente se concluyó (2022).

1.4. Formulación del problema

1.4.1. Problema general

¿Cómo influye el biocarbón enriquecido en la producción sostenible de sistemas de cultivos en Ucayali?

1.4.2. Problemas específicos

- ¿Qué características físicas y químicas muestra el biocarbón y biocarbón enriquecido?
- ¿Cómo afecta la aplicación de biocarbón enriquecido a las propiedades físicas y químicas del suelo?
- ¿La aplicación de biocarbón enriquecido al suelo, promoverá el crecimiento y la producción de los cultivos de maíz y frijol caupí en forma rotativa y asociada?
- ¿Qué características nutricionales muestran las semillas de maíz y frijol caupí en cultivo asociado con aplicación de biocarbón enriquecido?

1.5. Formulación de objetivos

1.5.1. Objetivo general

Estudiar la influencia del biocarbón enriquecido en la producción sostenible de cultivos en Ucayali.

1.5.2. Objetivos específicos

- Caracterizar física y químicamente el biocarbón y biocarbón enriquecido.
- Caracterizar física y químicamente a los suelos antes y luego de la aplicación del biocarbón enriquecido.

- Evaluar la fisiología, la producción, y, las características biométricas de los cultivos y semillas de maíz y frijol caupí, rotativos, y, asociados con aplicación de biocarbón enriquecido.
- Caracterizar nutricionalmente las semillas de maíz y frijol caupí cultivadas en asociación, con biocarbón enriquecido.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacionales

Agegnehu *et al.* (2017), en Australia, indicaron que ya se ha propuesto el uso de biochar y mezclas de biochar-compost de diferentes fuentes orgánicas alternativas como una opción para mejorar la fertilidad del suelo, restaurar la tierra degradada y mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero asociados con la agricultura; del mismo modo Van Zwieten *et al.* (2010), citado por Agegnehu *et al.* (2017), aplicó un biochar de papel a razón de 10 t ha⁻¹ en un suelo Ferrosol, y reportó el aumento significativo del pH, CEC, Ca intercambiable y C total, y la disponibilidad reducida de Al, mientras que en un suelo Calcarosol aumentó C y K intercambiable.

Las investigaciones plantearon el uso de biochar y biochar más compost para mejorar la fertilidad del suelo y sus aportes a la metodología de nuestra investigación han sido importantes en cuanto a la dosis de uso y las mejoras en las características físico químicas del suelo.

Badu (2017) en Ghana, desarrolló una investigación que tuvo como objetivo determinar el efecto sinérgico del biochar y el fertilizante inorgánico N sobre la mejora de la fertilidad del suelo y el rendimiento del cultivo de maíz. La investigación se realizó en la granja de investigación de la Facultad de Recursos Naturales Renovables en las temporadas de cultivos menores y mayores de 2012 y 2013, respectivamente; aplicando biochar a 0, 5, 10, 15 y 20 t ha⁻¹ y N de fertilizante a 0, 45 y 90 kg ha⁻¹; en la cual los resultados demostraron que la aplicación de fertilizante N puede mejorar la fertilidad del suelo y aumentar el rendimiento biológico del maíz, pero sus efectos pueden ser mayores cuando se aplica con biochar (particularmente a 10 t ha⁻¹); en relación con el control, la aplicación de biochar a 10 t ha⁻¹ aumentó el rendimiento de grano en un 213% y 160% en las temporadas de cultivo menor y mayor, respectivamente, atribuyéndose que el mayor rendimiento de maíz registrado en suelos

biochameados se debió a la mejora de la absorción de nutrientes y la eficiencia del uso de nitrógeno, los resultados indicaron que la aplicación de biochar aumentó la absorción de N en aproximadamente un 200% en comparación con las parcelas no intervenidas; concluyendo que los resultados de este estudio apuntan al hecho de que el biochar podría ser un recurso importante para los agricultores de escasos recursos dentro del área de estudio.

Esta investigación aportó a la metodología los parámetros en cuanto a dosis de biocarbón utilizado y el tipo de cultivo empleado para probar la eficacia del biocarbón en el suelo para promover la absorción del N.

En Colombia, Forero y Navarro (2017), prepararon un biochar, utilizando residuos sólidos orgánicos como: Mazorcas de cacao (cáscara de la mazorca y restos sin el grano), naranja (cáscara), papa (cáscara), plátano (cáscara), cascarillas (cáscaras de arveja), malezas (restos de las siembras) y otros (cáscaras de huevos, lechuga, cilantro y cebolla); luego experimentaron su efecto en el suelo en dos parcelas: Una con biochar y otra no, donde evidenciaron que en las fases de germinación y crecimiento de la planta los nutrientes obtuvieron cambios debido a las necesidades que tenían las espinacas durante las etapas de crecimiento, obteniendo un rendimiento del 20% en el aumento de producción de peso del cultivo de la parcela donde se agregó el biochar, y demostraron que esta enmienda permite el mejoramiento de suelos y el aumento de la productividad agrícola; también evaluaron el cambio del carbono orgánico del suelo (COS), que aumentó a medida que el cultivo iba avanzando, demostrando así que el biochar permite la captura de dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}), incrementando el secuestro de carbono.

El presente trabajo muestra la posibilidad de elaborar biochar de restos vegetales, con efectos positivos en el cultivo de verduras y la retención de carbono en el suelo, por lo cual nos orientó a utilizar los cuescos de palma aceitera como precursor de biocarbón para promover el crecimiento y producción de maíz y frijol caupí.

En la misma tendencia Pavlíková *et al.* (2017), en República Checa, desarrollaron un estudio, orientado por el objetivo de evaluar el efecto del biocarbón sobre el crecimiento y el metabolismo de la espinaca (*Spinacia oleracea* L.) y la mostaza (*Sinapis alba* L.) plantadas en la rotación de cultivos: espinacas (primavera) -mustard-espinacas (otoño); para ello aplicaron biocarbón al suelo en dosis de 5% por masa de suelo, y evaluaron su efecto sobre la disponibilidad de Ca, Fe, K, Mg, Na y P para las plantas, así como el contenido de prolina libre y aminoácidos totales, en un suelo degradado de Chernozem; luego los resultados mostraron que la adición de suelo de biocarbón aumentó significativamente el crecimiento de espinaca en un 102% y 353% en primavera y otoño, respectivamente; el biocarbón limitó el contenido de Ca, Mg y Na en la planta, sin embargo, el contenido de K aumentó en todas las plantas; determinaron un efecto inconsistente para el contenido de Fe y P en la biomasa de las plantas, pero el contenido total de aminoácidos libres fue mayor en las plantas cosechadas con tratamientos enmendados, excepto la espinaca cultivada en otoño; concluyeron que el biocarbón aumentó el contenido de prolina en todas las plantas en comparación con el control, siendo mayor el aumento en la mostaza, con un 186%.; por ello, los resultados mostraron una reacción más sensible de la aplicación de biocarbón en el cultivo de mostaza que en el cultivo de espinaca.

Esta investigación nos apoyó en la parte metodológica, pues demostró el efecto benéfico de la aplicación de biocarbón para mejorar la absorción de K, producción de prolina en plantas de mostaza.

Ezike (2016), en Ghana, en la zona de la Sabana de Guinea, desarrolló una investigación, orientada por el objetivo de mejorar la productividad del maíz mediante el uso de diferentes niveles de fertilizante sintético con estiércol y biochar; para lo cual realizó un experimento de campo y un estudio de incubación en laboratorio en Kpongu en la región del Alto Oeste de Ghana (Zona Agroecológica Sabana de Guinea) y en el laboratorio de Ciencia del Suelo de Knust, respectivamente; utilizó dieciocho tratamientos que comprendían tres niveles de biochar (0, 2.5 y 5 t ha⁻¹), tres niveles de fertilizante mineral (0, 50 y

100% de los 60-40-40 kg ha⁻¹) tasa recomendada) y dos niveles de estiércol (0 y 5 t ha⁻¹ tasa recomendada) que se aplicaron en un experimento factorial constituido por un diseño de parcelas divididas con tres repeticiones; en el estudio de incubación de laboratorio, los tratamientos se aplicaron en 153.6 g de suelo de campo, en un período de estudio de incubación de 56 días para determinar el efecto de los tratamientos en el pH del suelo, actividad de ureasa, nitrato de amonio (NH₄-N) y nitrato de nitrógeno (NO₃ -N); observó que el uso de estiércol a 5 t ha⁻¹ logró la altura más alta de la planta a las 2 semanas después de la siembra (17.39 cm) y 4 semanas después de la siembra (60.1 cm), mientras que el uso de NPK (60: 40: kg: kg ha⁻¹) logró la altura más alta de la planta a las 6 semanas después de la siembra (123,7 cm) y 8 semanas después de la siembra (194,6 cm), respectivamente, experimentalmente, el mayor rendimiento de grano (1,347 kg ha⁻¹), biomasa de materia seca (2,865 kg ha⁻¹), absorción de nitrógeno en biomasa (28.68%) y grano (20.4%), absorción de fósforo en grano (2.09%) y uso de nitrógeno, la eficiencia obtuvo con el uso de 30:20:20 kg ha⁻¹ NPK mientras que la mayor absorción de fósforo en biomasa (3.47%) obtuvo con el uso de estiércol a 5 t ha⁻¹; después de la cosecha, se realizó análisis al suelo cuyos resultados indicaron que ninguna de las enmiendas del suelo tuvo un efecto significativo sobre las propiedades del suelo examinadas, pero, se encontró que las parcelas intervenidas con biochar en dosis de 5 t ha⁻¹ tenían la materia orgánica más alta del suelo con 1.722 por ciento.

Este trabajo también hizo un buen aporte a la metodología de nuestra investigación, pues empleó también maíz para medir la eficiencia de la aplicación de biochar con fertilizantes sintéticos con estiércol.

Alí *et al.* (2015), en Pakistán, realizaron experimentos de campo durante dos años en cultivo de trigo y maíz, para evaluar el efecto interactivo del biochar con fertilizante sintético y estiércol de granja; para ello aplicaron biochar a razón de 25 t ha⁻¹, el cual aumentó rendimientos por m² en 6.64%, granos/espiga en 5.6%, peso de mil granos en 3.73, rendimiento de grano en 9.96%, rendimiento biológico en 15.36%, eficiencia de uso de fósforo por 29.03% y absorción de fósforo de grano en 19.67% en comparación con parcelas no tratadas con

biochar; otros resultados logrados con la aplicación de biochar, fue el incremento significativo del carbono del suelo (C), fósforo (P) y potasio (K) en 54.02, 61.39 y 18.41%, respectivamente; del mismo modo, el estiércol de granja a razón de 10 t ha⁻¹ dio como resultado componentes de rendimiento significativamente mayores, rendimiento de grano, C, P y K en el suelo superiores a 5 t ha⁻¹; asimismo, la aplicación de nitrógeno mineral a razón de 120 kg ha⁻¹ mejoró el rendimiento del trigo y los componentes del rendimiento sin un efecto significativo en los contenidos de C, P y K del suelo; concluyeron que la aplicación de biochar solo o en combinación con fertilizante sintético o nitrógeno mineral mejoró el rendimiento y los componentes del rendimiento del trigo y la calidad del suelo en el patrón de cultivo de trigo y maíz.

Estudio que aportó información relevante sobre el efecto del biocarbón en el suelo, a la metodología utilizada y que demostró las ventajas del biocarbón cuando se agrega combinado con fertilizantes para promover el cultivo de trigo y maíz.

En Turquía, Inal *et al.* (2015), condujeron una investigación con el objetivo de evaluar los efectos del estiércol de aves de corral procesado (0, 5, 10 y 20 g/kg) y su biochar (0, 2.5, 5, 10 y 20 g/kg) sobre las propiedades químicas de un suelo calizo y el crecimiento de plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) y maíz (*Zea mays*); para ello desarrollaron un experimento de incubación, donde tanto del estiércol de aves de corral procesado (PPM) como del biocarbón disminuyeron el pH y la concentración de Fe disponible en el suelo, pero aumentaron las concentraciones de P, Zn, Cu y Mn disponibles para la planta; otros resultados mostraron que el PPM y biocarbón aumentaron las concentraciones de cationes intercambiables (K, Ca y Mg) en el suelo; por lo cual, las aplicaciones de PPM y biocarbón aumentaron el crecimiento de las plantas de maíz y frijol; del mismo modo, el PPM y el biocarbón incrementaron las concentraciones de N, P, K, Ca, Fe, Zn, Cu y Mn en las plantas de frijol y en las plantas de maíz, las aplicaciones de PPM y biochar aumentaron el N, P, K, Zn, Cu y Mn pero disminuyeron las concentraciones de Ca y Mg; concluyeron

que los resultados de esta investigación revelaron que el biocarbón de estiércol de aves de corral se puede utilizar con eficacia para fines agrícolas.

Este trabajo contribuyó en nuestra metodología, por el uso de biocarbón más estiércol de aves, también por emplear frijol y maíz como indicadores de los efectos beneficiosos de la enmienda en el contenido de minerales de las plantas.

Martínez (2015), en México, en su investigación que tuvo como objetivo evaluar tres enmiendas de biochar, utilizando residuos agroindustriales; bagazo de agave (A), viruta de madera de álamo (M) y olote (O), sobre el desarrollo de plantas de pepino (*Cucumis sativus* L. cv SMR-58); inició su trabajo caracterizando los residuos en cuanto a su contenido de humedad, lignina, celulosas, hemicelulosas, extraíbles y cenizas, así como el rendimiento de transformación en biochar; luego realizó dos experimentos para evaluar el efecto de mezclas en diferentes proporciones de biochar/peatmoss y biochar/suelo en el desarrollo del cultivo; para ello, registró el desarrollo de las plántulas en un primer experimento a los 43 días de la siembra; en el segundo, evaluó las plantas a los 31 días después de su trasplante, midiendo en ambos casos la altura y el diámetro del tallo; la longitud, peso seco y volumen de la raíz; el peso seco de hojas y tallos; el pH y la C.E. de los lixiviados; los nutrientes en tallos y hojas, y unidades SPAD en hojas; los resultados del primer experimento, evidenciaron que los biocarbones de agave y de olote fueron efectivos como aditivos, pues mejoraron el sustrato de peatmoss y el desarrollo de la planta de pepino, como consecuencia del incremento significativo de la disponibilidad de los nutrientes del fertilizante y por tanto los macronutrientes en las hojas y tallos, el peso seco de hojas, tallos y de raíz, la altura y el diámetro del tallo y el volumen de la raíz, adicionalmente el biocarbón de agave incrementó significativamente el pH de los lixiviados, creando un pH más próximo al óptimo para la planta de pepino; los resultados logrados en el segundo experimento, las aplicaciones del biocarbón, incrementaron significativamente los cationes intercambiables del suelo, pero no presentó cambios significativos en la CIC, materia orgánica, agua disponible, densidad aparente y real; por ello, los resultados obtenidos con la

aplicación del biocarbón de agave comparadas con las de olote, álamo y el control, mostraron un efecto significativo en el desarrollo de las plantas de pepino, influyendo directamente en la altura del tallo y el volumen de la raíz; por su parte, el análisis nutrimental en hojas y tallos mostró variación en los tratamientos de ambos experimentos; concluyó que el biocarbón de agave fue la mejor enmienda para mejorar las características del suelo y para el desarrollo del cultivo de pepino.

La metodología de nuestra investigación se vio enriquecida, pues este trabajo experimentó la fabricación de biocarbón a partir de diferentes residuos agrícolas cuyos efectos fueron medidos en la planta del pepino.

El efecto del biocarbón en la formación de compuestos útiles para las plantas, ha sido estudiado por Monterumici *et al.* (2015) en Italia, lo cual se muestra en la investigación que tuvo como objetivo probar el efecto de los residuos biológicos procesados frente a los no procesados en la siembra de rábano; por ello prepararon residuos poscosecha de plantas de tomate (TP), hidrolizados de TP obtenidos a pH 13 y 60°C, y dos productos de biocarbón obtenidos por pirólisis a 650°C; previamente se investigó la composición química y la naturaleza molecular de los materiales, mediante espectrometría ¹³C NMR en estado sólido, análisis elemental y titulación potenciométrica; en las plantas se determinaron el crecimiento y el contenido de clorofila, carotenoides y proteínas solubles; los resultados mostraron que las TP y los hidrolizados alcalinos contenían restos de lignina, hemicelulosa, proteína, péptido y/o aminoácidos y varios elementos minerales; del mismo modo, el análisis de las muestras de biocarbón, mostraron también elementos minerales similares, pero la fracción orgánica se caracterizó principalmente por anillos aromáticos fusionados; los experimentos demostraron que todos los materiales tuvieron un efecto positivo en el crecimiento del rábano, principalmente en el diámetro de las raíces; pero los mejores rendimientos en términos de crecimiento de la planta, fueron obtenidos por el biocarbón y el TP originados en miscanthus; siendo el efecto más significativo, la mejora del contenido de proteína soluble en las plantas tratadas con TP no procesado; concluyendo que los hallazgos del

presente trabajo son de suma importancia para la agricultura y el medio ambiente.

Esta investigación aportó importantes datos a nuestra metodología, pues demostró los beneficios del biocarbón en plantas de rábano tanto en su crecimiento y contenido proteico.

Por su parte Olmo (2015), en España, desarrolló una investigación cuyo objetivo principal fue evaluar en condiciones de campo los efectos de la adición de un biocarbón fabricado de restos de poda de olivo en el crecimiento, producción y rasgos funcionales más importantes de un cultivo de trigo duro (*Triticum durum*), encontrando como resultados, que el biocarbón provocó un crecimiento más rápido de la planta y un mayor desarrollo de la espiga antes de la llegada de los meses secos, lo que pudo favorecer su rendimiento, lo cual fue corroborado con la cosecha final, pues observó mayores rendimientos de las parcelas tratadas con biocarbón, en comparación con el control. Sus resultados sugieren que los efectos positivos del biocarbón sobre el crecimiento y la producción del cultivo estuvieron relacionados con su capacidad para reducir la compactación y aumentar la capacidad de retención hídrica del suelo. Sin embargo, los efectos del biocarbón sobre la raíz no fueron tan claros, encontrando sólo un ligero aumento de la longitud específica y una reducción de la densidad tisular de la raíz en la zona más superficial del suelo.

Los resultados obtenidos sugieren que la adición de biocarbón es una opción viable para mejorar las propiedades físicas del suelo y aumentar la producción del cultivo de trigo duro en condiciones de clima mediterráneo, lo cual aportó a la seguridad de la obtención de los objetivos.

Por su parte Tam y Mckay (2015), fabricaron biochar de cáscaras de arroz en el cultivo de maní, desarrollando los experimentos en el Instituto de Ciencias Agrícolas para la Costa Central del Sur de Vietnam (ASISOV), localizado en el distrito de Phu Cat, provincia de Binh Dinh, en 2010-11, que mostraron un 15-30% más de rendimiento del cultivo como resultado del uso de biochar, explicando que el aumento de la productividad pudo deberse, según Hoang Vinh

et al., citados por Tam y McKay (2015) a: una mayor capacidad de retención de agua de los suelos, nutrientes en el biochar; y/o una tasa reducida de lixiviación de nutrientes después de la aplicación del biochar; luego de la transferencia tecnológica y la comunicación respectiva, 45 agricultores, de los 60 entrevistados (75% del total) acordaron probar el uso de biochar, de los 45 agricultores, 35 hogares (78%) ofrecieron auto-producir biochar y 10 hogares (22%) acordaron comprar biochar si estuviese disponible comercialmente.

La investigación aportó información importante sobre el uso de un residuo agrícola (cascarilla de arroz) para producir biocarbón el cual contribuyó a mejorar las características agrícolas del suelo y sobre la metodología de transferencia tecnológica hacia los agricultores.

Con respecto a la absorción del fósforo (P) vegetal a través de las micorrizas arbusculares (AM), en Suiza, Vanek y Lehmann (2015), efectuaron un estudio que tuvo como objetivo conocer si la solubilidad de P y la proximidad del biocarbón-P alteraban la potenciación de AM en la absorción de P en un cultivo de frijol micorrizal; para ello desarrollaron un estudio de invernadero para comparar el P derivado de materia prima con 50 mg P pot-1 de FePO₄ poco soluble (Fe-P) o NaH₂PO₄ soluble (Na-P) en diferentes proximidades al biocarbón (co-pirolizado, mezclado con tierra) en la absorción de P de *Phaseolus vulgaris*, también longitud de raíz específica (SRL), colonización AM, lípidos neutros de AM y biomasa-P microbiana; encontrando que el biocarbón aumentó la colonización AM en un 6% (p <0.01) y aumentó la absorción de Fe-P de 3.1 a 3.8 mg planta-1, con una absorción de Fe-P relacionada con la AM aumentada en un 12% (p <0.05). Independientemente de la proximidad, el biochar aplicado con Fe-P se enriqueció (> 2 ×) con hifas AM; por eso indicaron que la proximidad de biocarbón-P no alteró la captación de P, pero cambió la captación hacia AM para Fe-P y raíces para Na-P; sin embargo, el P soluble localizado en el biocarbón, incrementó en la planta el P total microbiano (p <0.05). El biochar revertió (p <0.05) las reducciones en la longitud de la raíz específica-SRL inducidas por AM. El mejoramiento del acceso del biocarbón a AM a P escasamente soluble, y el acceso de raíz/P microbiano; concluyendo que el

biocarbón soluble aumenta la absorción de P poco soluble en escalas mayores que las partículas de biochar, quizás reduciendo la sorción de P o facilitando la exploración de raíz/hifas.

Este trabajo, nos apoyó en considerar en la metodología, el uso del frijol caupí como indicador del efecto beneficioso del biocarbón en las poblaciones microbianas del suelo para estimular la absorción del fósforo por las raíces de las plantas.

Aker (2014), en un trabajo desarrollado en Nicaragua, estudió el efecto del biocarbón, la gallinaza, los fertilizantes sintéticos y la combinación de los anteriores en tres clases de suelos con textura: Franco Arenoso, Arenoso Franco y Franco Arcillo Arenoso, usando el cultivo de maíz, en donde evaluó la capacidad de retención de humedad medido en % HV, VIA, Dap, pH, CIC, MO, contenido de nutrientes: Ca, Mg, K, N de NO₃, P, peso de chilotes y mazorcas, biomasa de plantas y rendimientos de maíz en mazorca; logrando como resultados que el suelo puede llegar a retener hasta un 18% de agua aplicando biocarbón con gallinaza el cual a su vez disminuye la densidad aparente del mismo hasta 0.82 g/cm³, además incrementa el pH en 7.36 y el contenido de macronutrientes del suelo Ca: 324, K: 111, Mg: 35, N: 35, P: 66 (mg/100g); adicionalmente la aplicación de biocarbón con gallinaza produce resultados positivos al acondicionar significativamente las propiedades fisico-químicas de los suelos Franco Arcillo Arenosos para lograr un mejor desarrollo de las raíces de las plantas de maíz.

Este trabajo muestra la factibilidad de asociar biocarbón más un abono natural, con resultados beneficiosos en las propiedades físico químicas del suelo para promover el desarrollo de las plantas, tal como se ha desarrollado en la presente tesis.

En la India, Elangovan (2014), desarrolló una investigación para evaluar las características del biochar derivado de diversos materiales biológicos entre los años 2011 y 2012 para estudiar su efecto con y sin fertilizantes inorgánicos en la productividad del suelo, examinar los efectos directos, acumulativos y

residuales del biochar en la fertilidad del suelo, la productividad del cultivo y la calidad del cultivo del sistema de cultivo basado en algodón-maíz- frijol caupí en un suelo Inceptisol; los rendimientos de los biochares elaborados de diferentes materiales de biomasa varió de 15.5 a 40.6% y siguió en el orden del tipo de madera: prosopis>cáscara de coco>tallo de tapioca>tallo de algodón>tallo de redgram>mazorca de maíz>rastrojo de maíz>bagazo de caña de azúcar; por su parte, los biochares de biomasa de madera y tallo registraron mayores propiedades físicas, alcalinas en reacción y moderadamente salinas y mayores índices de CEC, TOC, C/N, Na, Ca y Mg intercambiables totales, de N, P, K, S que los biochares derivados de biomasa seca; la comparación de las propiedades físicas, fisicoquímicas y químicas de los biochares, indicó que el biochar de madera de prosopis, posee valores superiores al resto de los biochares, pues registró un contenido de carbono orgánico muy alto (78.3 g kg⁻¹), una relación C/N amplia (78.2) y alta CEC (18,2 cmol (p⁺) kg⁻¹); los cuales fueron confirmados por análisis de Sensibilidad Electro Magnética (SEM) y SEM-Espectrometría de dispersión de energía de rayos X (EDS) -SEM-EDS y exámenes de espectros Raman; del mismo modo, la aplicación de biochar al suelo mineral, independientemente de su tasa de aplicación (0, 1, 2, 4, 6, 8 y 10%) y el período de incubación (0, 30, 60 y 90 días), mejoró significativamente sus propiedades fisicoquímicas, pues, pH (8,68 a 8,74) y EC (de 0,34 a 0,99 dS m⁻¹); propiedades químicas, como el contenido de carbono orgánico (2,80 a 3,74 g kg⁻¹) y CEC (28,90 a 30,18 cmol (P⁺) kg⁻¹) y estado de fertilidad a saber, P disponible (20,00 a 23,62 kg ha⁻¹) y K disponible (341.0 a 446.6 kg ha⁻¹); a excepción del N, cuya disponibilidad disminuyó (252.0 a 234.4 kg ha⁻¹).

Los resultados de esta investigación nos permitieron mejorar la metodología, pues utilizaron un sistema de cultivos conformado por algodón-maíz- frijol caupí, es decir 3 cultivos siendo el maíz y el frijol caupí los cultivos conformantes del sistema utilizado en nuestra investigación.

Villalta y Quezada (2014), en Ecuador, realizaron una investigación, cuyo objetivo fue de generar alternativas para el mejoramiento de las condiciones físicas de los suelos de la Hoya de Loja, usando biocarbón, en la producción de

fresa (*Fragaria vesca*) bajo invernadero, usando para ello un diseño de bloques completamente al azar con arreglo bifactorial (3x3) para los factores Biocarbón: $2 \text{ kg/m}^2 < 2.0$ y $2.1 - 4.5$ mm de diámetro y un testigo sin biocarbón; la aplicación de biocarbón con granulometrías de < 2 mm y de 2.1 a 4.5 mm, modificaron las propiedades físicas de los suelos en el rango de pobre a bueno; la conductividad eléctrica pasó de 0.68 mmhos/cm a 2.67 mmhos/cm; el pH del suelo subió de ligeramente 3ácido a prácticamente neutro; el contenido de materia orgánica pasó de medio a alto; la capacidad de intercambio catiónico se mantuvo en el rango medio y los contenidos de nitrógeno, fosforo y potasio en el rango alto.

Esta investigación nos orientó para considerar la influencia del tamaño de partícula del biocarbón en las propiedades físicas del suelo, la cual se aplicó en el presente estudio.

En Costa Rica, Hojah (2013), realizó un estudio al que dividió en tres partes, la primera parte evaluó en campo el efecto de la aplicación de biocarbón (3 kg/planta) al suelo, con y sin abono orgánico (gallinaza + biocarbón, 3 kg/planta), sobre las calidades de los suelos, la producción de cacao e incidencia de enfermedades en los frutos en sistemas agroforestales en la Reserva Indígena Bribri, Talamanca, Costa Rica; en la segunda parte del estudio, evaluó el crecimiento en altura y diámetro de cuello de plántulas de cacao en vivero; y, en la tercera parte, analizó insumos para el uso y producción de biocarbón por estufas desarrolladas por la ONG Seachar; asimismo, reporta que en campo, encontró diferencias significativas entre los tratamientos, con respecto a la densidad aparente del suelo, indicadores químicos (pH, Acidez, Ca, Mn, P, N, C, MO, C/N) y biomasa microbiana; además la aplicación de biocarbón con gallinaza incrementó el peso húmedo de semillas de cacao por fruto; por ello concluyó que la combinación de gallinaza con biocarbón fue particularmente eficiente y fue el tratamiento con los mejores resultados en indicadores del suelo, peso de semillas de cacao y crecimiento de plántulas de cacao.

Este trabajo nos proporcionó elementos importantes de la metodología, para determinar el efecto de la aplicación del biocarbón enriquecido en vacaza

para promover el crecimiento de las plantas de maíz y frijol caupí, cultivos considerados en la investigación desarrollada.

Con respecto al uso de biocarbón inoculado con microorganismos, Saxena *et al.* (2013) en la India, manifiestan que las rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas (PGPR) son una alternativa a los fertilizantes químicos (ocasionan muchos problemas, sobre todo ambientales), pues contribuyen a promover el crecimiento de las plantas y el rendimiento de los cultivos, pero adicionados con biocarbón, ocasionan una mejora en los rendimientos de los cultivos, ayudan a evitar la escorrentía de los fertilizantes y la lixiviación, aumentan la retención de humedad y ayudan a las plantas a soportar períodos de sequía; por ello realizaron un experimento en maceta con 6 tratamientos diferentes: suelo solo, suelo + biochar, suelo + *Bacillus sp.*, suelo + biochar + *Bacillus sp.*, suelo + biochar + biofertilizante comercial (Biozyme), y suelo + fertilizante químico (fosfato de Di-amonio, DAP); midiendo sus efectos en judías verdes (*Phaseolus vulgaris*), mediante la determinación de la longitud, la biomasa de la raíz y el brote, el rendimiento de semillas y la absorción de nutrientes; obtuvieron de forma general. En general, todos los tratamientos mostraron un aumento significativo en el crecimiento y el rendimiento en comparación con las plantas cultivadas en suelo no tratado. Se observó que la adición de biochar al suelo influyó positivamente en el crecimiento general de las plantas, pero la inoculación con *Bacillus sp.* o Biozyme mejoró este efecto aún más. El tratamiento, suelo + biochar + *Bacillus sp.* también mostró el mayor número de bacterias solubilizadoras de fosfato en la rizosfera de plantas y contenido de N en brotes, mientras que el contenido más alto de P se observó en suelo + DAP, seguido de suelo + biochar + *Bacillus sp.* combinación. Por lo tanto, se puede concluir que tanto el biocarbón como el bioinoculante, *Bacillus sp.* son buenos tratamientos para la agricultura sostenible.

Este trabajo también contribuyó de modo significativo a la metodología, en cuanto demostró el beneficio de usar biocarbón con biofertilizantes más microorganismos, en el cultivo de frijol, con los cuales lograron grandes

beneficios como incrementar la producción, optimizar el uso de los fertilizantes y el agua, de modo que la planta soporta períodos de sequía.

También en Costa Rica, Henreaux (2012), evaluó el efecto de la aplicación de biocarbón combinado con fertilizantes orgánicos (lombricompost y gallinaza) y microorganismos benéficos (*Bacillus subtilis* AB4410 y *Trichoderma harzianum* IMI 395248) sobre la productividad del pepino (*Cucumis sativus*) y las capacidades de desarrollo y de resistencia contra la mosca blanca (*Bemisia tabaci*) y dos bacterias patógenas (*Ralstonia solanacearum* y *Pseudomonas corrugata*) en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum*); la aplicación de biocarbón combinado con *B. subtilis* incrementó de un 13% el crecimiento de las plantas de tomate fertilizadas con lombricompost a lo largo de siete semanas de evaluación, y aumentó un 27% el peso seco de las plantas infectadas por *P. corrugata*; del mismo modo, la inoculación con *T. harzianum* y su combinación con *B. subtilis* permitieron, en presencia de biocarbón, aumentar un 48% y 33% el peso seco de plantas de tomate fertilizadas con lombricompost; del mismo modo hubo una disminución significativa del número de moscas blancas con la aplicación de biocarbón en las plantas inoculadas con *B. subtilis* y su combinación con *T. harzianum*; el biocarbón disminuyó significativamente la incidencia de *Ralstonia solanacearum* a lo largo del tiempo, con una mayor eficiencia en plantas fertilizadas con gallinaza. La co-inoculación con *T. harzianum* y *B. subtilis* en plantas de pepino fertilizadas con gallinaza con biocarbón aumentó significativamente la producción de frutos, alcanzando una productividad estadísticamente igual a la fertilización sintética. La combinación de gallinaza con biocarbón fue particularmente eficiente y dio los mejores resultados de producción de biomasa en plantas de tomate infectadas por *P. corrugata*.

Esta investigación, también contribuyó a tener seguridad del efecto beneficioso de la combinación de biocarbón más fertilizantes orgánicos en el desarrollo de las plantas y la producción de frutos.

La influencia del biocarbón para la síntesis de moléculas en las plantas, ha sido investigado por Noguera *et al.* (2012), pues en Francia, desarrollaron un trabajo para indagar la formación de biomasa en el cultivo de arroz, como efecto de la adición de biocarbón y lombrices, comparando luego ambas enmiendas, que los llevó a hacer comparaciones de las variables macroscópicas clásicas, y también monitorearon algunos procesos celulares a nivel de hoja involucrados en el recambio proteico; determinaron que tanto el biocarbón como las lombrices incrementaron significativamente la producción de biomasa de los brotes, pero que el biocarbón tuvo un mayor efecto en el número de hojas (87%) y las lombrices en el área foliar (89%); también el biocarbón aumentó significativamente el recambio de hojas; y, a nivel celular, es el biocarbón el que potencia el catabolismo proteico como consecuencia del aumento de las actividades proteolíticas de las hojas, el cual podría estar relacionada con el incremento de la expresión de tres de los seis genes probados, que tienen relación con el catabolismo proteico, un gen de serina proteasa OsSP2 (24%), un gen de proteasa de ácido aspártico, Oryzasin (162%) y un gen Oscabr de cisteína proteasa (257%); y, que además, el biocarbón también mejoró el nivel de expresión de dos genes vinculados al anabolismo proteico, que codifica las subunidades pequeñas y grandes de rubisco (33% y 30%, para rbcS y rbcL, respectivamente), que es la proteína más abundante en las hojas; por lo cual concluyeron, en base a los datos obtenidos y evidenciados, que el biocarbón aumentó la producción de biomasa del arroz mediante un mayor recambio de proteína foliar (impulsado por el catabolismo y anabolismo), mientras que las lombrices también aumentaron la producción de biomasa del arroz pero no a través de cambios en la tasa de recambio proteico; por lo cual enunciaron la hipótesis de que las lombrices aumentaron la absorción de nitrógeno a un bajo costo para la planta a través de un incremento simultáneo en la tasa de mineralización y la biomasa de la raíz, posiblemente a través de la liberación en el suelo de los factores de crecimiento de la planta, lo cual podría permitir a las plantas acumular más biomasa sin un aumento en el metabolismo del nitrógeno a nivel de hoja, y sin tener que elevar el costo energético consecutivo que deben soportar las plantas en el tratamiento con biocarbón.

El presente trabajo de investigación, nos proporcionó aportes a la metodología, pues utilizó el biocarbón juntamente con lombrices, cuya simbiosis benefició de modo positivo a las plantas de arroz para incrementar su biomasa.

Zhang *et al* (2012a), en la China, realizaron un experimento, que tuvo como objetivos investigar el efecto del biochar en el rendimiento del maíz y los gases de efecto invernadero (GEI) en un suelo franco calcáreo pobre en carbono orgánico de Henan, gran planicie central, China, su metodología comprendió la aplicación de biochar a tasas de 0, 20 y 40 t ha^{-1} con o sin fertilización de N. Junto con la fertilización con N, aplicaron urea a 300 kg N ha^{-1} , de los cuales 60% se aplicaron como fertilizante basal y 40% como fertilizante suplementario durante el crecimiento del cultivo; monitorearon las emisiones de CO_2 , CH_4 y N_2O en el suelo utilizando cámaras cerradas a intervalos de 7 días durante toda la temporada de cultivo de maíz; obteniendo como resultados, que las enmiendas de biochar aumentaron significativamente la producción de maíz pero disminuyeron los GEI, el rendimiento de maíz se incrementó en 15.8% y 7.3% sin fertilización con N, y en 8.8% y 12.1% con fertilización con N bajo enmienda de biochar a 20 t ha^{-1} y 40 t ha^{-1} , respectivamente; también, la emisión total de N_2O disminuyó en un 10,7% y en un 41,8% en virtud de la enmienda de biochar a 20 t ha^{-1} y 40 t ha^{-1} en comparación sin biochar como enmienda y con fertilización con nitrógeno; por otro lado, la alta tasa de biochar (40 t ha^{-1}) aumentó la emisión total de CO_2 en un 12% sin fertilización con nitrógeno; por lo cual en general, las modificaciones de biochar de 20 t ha^{-1} y 40 t ha^{-1} disminuyeron el potencial de calentamiento global de CH_4 y N_2O en un 9.8% y en un 41.5% sin fertilización N, y en un 23.8% y 47.6% con fertilización nitrogenada, respectivamente; otros resultados indicaron que las enmiendas de biochar también disminuyeron la densidad aparente del suelo y aumentaron el contenido total de N en el suelo pero no tuvieron efecto sobre el N mineral del suelo, y concluyeron que la aplicación de biochar a tierras áridas calcáreas e infértiles pobres en carbono orgánico del suelo mejorará la productividad del cultivo y reducirá las emisiones de GEI.

Esta investigación nos permitió considerar el uso del cultivo de maíz como indicador del efecto benéfico de la aplicación del biocarbón, y la seguridad de mejorar las características físicas del suelo degradado en el cual se experimentó.

En la misma tendencia, Zhang *et al.* (2012b), desarrollaron un experimento de campo de 2 años consecutivos en 2009 y 2010 en arrozales para comprender mejor los efectos del biochar en la producción de arroz y las emisiones de gases de efecto invernadero; para ello, agregaron el biochar en 2009 antes del trasplante de arroz a tasas de 0, 10, 20 y 40 t ha⁻¹, y las emisiones del suelo de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) se controlaron con el método de cámara cerrada; los resultados mostraron que la adición del biochar aumentó la productividad del arroz, el pH, el carbono orgánico, el nitrógeno total del suelo, pero disminuyó su densidad aparente en ambos ciclos de crecimiento del arroz; del mismo modo, redujo la emisión de óxido nitroso pero aumentó la emisión de metano en ambos ciclos; determinaron que la intensidad del efecto de biochar en la concentración de C de la producción de arroz se observó de -10.2% a 25.8% en el primer ciclo, y de -36.9% a -18.6% en el segundo ciclo; por lo tanto, el efecto del biochar en la reducción de la concentración total de C en la producción de arroz podría incrementarse en los ciclos posteriores en relación con en el primer ciclo, pero con respecto a la emisión de N₂O se observó una fuerte reducción en un solo ciclo de cultivo; sin embargo, estos efectos no se encontraron proporcionales a las tasas de adición de biochar y al rendimiento alto de arroz, pero la menor intensidad de C se logró con la enmienda de biochar a 10 t ha⁻¹ en ambos ciclos del cultivo de arroz.

La metodología de nuestro trabajo, fue mejorada con los aportes de esta investigación, la cual se desarrolló durante 2 años, en los cuales observaron la influencia del biocarbón en el cultivo del arroz y la disminución de la emisión de óxido nitroso al ambiente.

Con la finalidad de investigar los efectos del biochar a largo plazo, Dil (2011), en Canadá, investigó la capacidad del biochar mezclado con urea-amonio (Char⁺) para aumentar la productividad agrícola y la pérdida de carbono orgánico del suelo (SOC) en regiones templadas; para ello trabajó en un experimento de cámara de crecimiento, dos ensayos de campo y efectuó el modelamiento de materia orgánica, usando el programa Century Soil; observó que el experimento de cámara de crecimiento, la mezcla aumentó significativamente la masa seca (MS) de los brotes de maíz (*Zea mays*) en un 310% en suelo con textura arenosa, 112% en suelo mediano y no se observó una diferencia significativa en suelo fino; sin embargo, en todas las texturas del suelo, así como en la prueba de campo usando la mezcla, la MS de maíz resultante de la dosis de 1 t/ha, no resultó significativamente diferente de los tratamientos donde se usó solo urea-amonio; los resultados de los ensayos de campo de uso de biochar demostraron que si se aplicara 1 t ha⁻¹ de la mezcla anualmente, la producción de biomasa de maíz no se vería afectada después de 6-12 años (6.2-12.4 t de biochar ha⁻¹), y podría haber una ligera mejoría en los rendimientos de aproximadamente 25% después de 25 años (24.8 t de biochar ha⁻¹); aun cuando no se encontraron diferencias significativas en SOC en el ensayo de campo, hubo una tendencia a aumentar el SOC a medida que aumentaban las tasas de aplicación de biochar. El modelo utilizado, predijo que la adición anual de 1 o 2 t de mezcla/ha aumentaría SOC más que otras prácticas de manejo, incluyendo la rotación de cultivos, la labranza cero y el estiércol, durante un período de 150 años; del mismo modo, el modelo predijo que la aplicación de 1 t de mezcla/ha por año a un suelo arenoso aumentará SOC en un 10% después de 10 años y un 17% después de 20 años; concluyendo que la investigación fue significativa porque mostró cómo un método económicamente viable de usar el biochar puede mejorar la sostenibilidad de los agroecosistemas y aumentar el secuestro de carbono terrestre en las regiones templadas.

Esta investigación contribuyó a la metodología de nuestra investigación, pues los autores experimentaron con biocarbón mezclado con fertilizantes químicos tanto a nivel de laboratorio y de campo, simulando con un programa informático la efectividad del biochar durante 150 años.

En la Revista Europea de Agronomía, Vaccari *et al.* (2011), presentaron los resultados de una investigación donde aplicaron grandes volúmenes de biocarbón (30 y 60 t ha⁻¹) en cultivo de trigo duro en condiciones de clima mediterráneo, que mostró la viabilidad de la aplicación de biocarbón para el secuestro de carbono; del mismo modo, la aplicación de biocarbón también tuvo efectos positivos de hasta un 30% en la producción y el rendimiento de biomasa, sin diferencias en el contenido de nitrógeno del grano; asimismo, no detectaron diferencias significativas entre los dos tratamientos de biocarbón, sugiriendo, que incluso las tasas de aplicación de biocarbón muy altas promueven el crecimiento de la planta y, no son perjudiciales; y observaron que el efecto del biocarbón, se mantuvo en el trigo duro durante dos temporadas consecutivas, aun cuando no se aplicó biocarbón en el segundo año.

Este estudio, reforzó la metodología utilizada, pues mostró los efectos benéficos de la aplicación en altas dosis de biocarbón, en el cultivo de trigo, en dos campañas consecutivas, sin aplicación adicional de biocarbón entre campañas.

En Israel, Graber *et al.* (2010), desarrollaron un interesante trabajo, para determinar el impacto de las adiciones (1-5% en peso) de un biocarbón de origen vegetal pobre en nutrientes en cultivos de pimienta (*Capsicum annuum* L.) y tomate (*Lycopersicon esculentum*); donde se observó una mejora significativa en el desarrollo de la planta de pimienta en las macetas tratadas con biocarbón en comparación con los controles no modificados; lo cual corroboraron con un aumento de todo el sistema de cultivo, en la mayoría de los parámetros medidos de la planta como: área foliar, peso seco del dosel, número de nudos y rendimiento de cogollos, flores y frutos; pero además de los aumentos observados en el crecimiento y la productividad de las plantas, la rizosfera del pimienta cultivada con biocarbón, presentó una abundancia significativamente mayor de microbios cultivables pertenecientes a grupos prominentes asociados al suelo; por su parte, en tomate, los tratamientos con biocarbón mejoraron positivamente su altura y el tamaño de la hoja, pero no tuvieron efecto en el

rendimiento de flores y frutos; como no hubo diferencias significativas entre el control y las plantas tratadas con biocarbón, se explicó que los impactos positivos del biocarbón en la respuesta de la planta no se debieron a los efectos directos o indirectos en la nutrición de la planta, ni se debió al biocarbón, tampoco afectó la capacidad de campo de la mezcla sin suelo; es por ello que conjeturaron para explicar el mejoramiento en el rendimiento de la planta bajo tratamiento con biocarbón a: (i) los atributos químicos y físicos del biocarbón, actuaron estimulando cambios en las poblaciones microbianas que benefició el crecimiento de plantas rizobacterias u hongos; o (ii) las dosis bajas de los productos químicos determinados en extractos disolventes del biocarbón, como ácidos n-alcanoicos, hidroxí y acetoxiácidos, ácidos benzoicos, dioles, trioles y fenoles, que son fitotóxicos o biocidas en altas concentraciones, estimularon el crecimiento de las plantas, lo cual se conoce como hormesis.

El presente trabajo contribuyó a mejorar nuestra metodología, pues arrojó interesantes resultados en el efecto benéfico del biocarbón en cuanto al crecimiento de plantas de pimiento y tomate, así como en la población microbiana del suelo para estimular el crecimiento de las plantas y en minimizar los efectos tóxicos de los contaminantes.

Por su parte Hunt *et al.* (2010), citado por Ali (2013) en Honduras, con los resultados de su investigación, mostraron que la fijación biológica del nitrógeno y la simbiosis con las micorrizas en un cultivo de frijol, fueron enriquecidas con la aplicación de biochar.

Esta investigación aportó datos importantes a nuestra metodología sobre el cultivo utilizado como es el frijol caupí para comprobar el efecto del biocarbón como promotor de la simbiosis con las micorrizas.

En Colombia, Major *et al.* (2010), estudiaron el efecto de una sola aplicación de 0, 8 y 20 t ha⁻¹ de biochar a una sabana Oxisol, durante 4 años (2003-2006), bajo una rotación maíz-soya; tomaron muestras de suelo a 30 cm al final de cada cosecha de maíz en todos los años, pero en 2005, recogieron muestras de tejido de maíz y midieron la biomasa del cultivo; observaron que el

rendimiento de grano de maíz no aumentó significativamente en el primer año, pero los incrementos en las parcelas de 20 t ha⁻¹ sobre el control fueron 28, 30 y 140% para 2004, 2005 y 2006, respectivamente; en cuanto a la disponibilidad de nutrientes como Ca y Mg fue mayor con el biochar, y los análisis de los tejidos de los cultivos mostraron una restricción de Ca y el Mg en este sistema; y con respecto al pH del suelo, aumentó y la acidez intercambiable mostró una tendencia decreciente con la aplicación de biochar; atribuyeron que el mayor rendimiento de los cultivos y la mayor absorción de nutrientes principalmente al 77-320% más de Ca y Mg disponibles en el suelo se debió a la aplicación del biochar.

El trabajo desarrollado, contribuyó a la metodología pues planteó la rotación de cultivos como el maíz y la soya y demostró mejoras en las características químicas del suelo y rendimiento de los cultivos, durante 4 años.

Solaiman *et al.* (2010), en Australia, investigaron en trigo, el efecto del crecimiento de micorrizas por aplicación de biocarbón de mallee en zanjas profundas, a tasas de 0, 1.5, 3.0, y 6 t/ha, con 2 tipos de fertilizantes: (MultiMAPS® no inoculado a 30 o 55 kg/ha, y, de fertilizante mineral occidental inoculado a 100 kg/ha sobre el crecimiento del trigo; cuyo rendimiento aumentó significativamente cuando se aplicó biocarbón con fertilizante inoculado y 30 kg/ha de fertilizante no inoculado; observándose que la colonización de micorrizas en raíces de trigo aumentó significativamente con la aplicación de biocarbón con fertilizante mineral inoculado, debido a que las hifas de micorrizas pudieron tener un mejor suministro de agua para reducir el estrés por sequía en estos tratamientos; atribuyéndose que los aumentos en el rendimiento del grano se debieron a una mejor supervivencia y al llenado del grano por un estrés reducido de sequía; pero la absorción de fósforo en la etapa inicial no se mejoró con la colonización de micorrizas, debido a que el suministro de fósforo del suelo y del fertilizante aplicado era el adecuado; luego el efecto residual del biocarbón y los fertilizantes minerales se evaluaron mediante un bioensayo de micorrizas, para una muestra de suelo recolectada en campo 2 años después de la aplicación del biocarbón; en conclusión, el biocarbón y ambos fertilizantes

aumentaron la colonización de micorrizas en plantas de bioensayo de trébol, y específicamente, el biocarbón aplicado en el suelo en bandas profundas, proporcionó las condiciones adecuadas para que los hongos micorrízicos colonicen las raíces de las plantas.

La contribución de esta investigación a nuestro trabajo, radicó en la metodología, pues demostró la efectividad de mezclar el biocarbón con fertilizantes, lo cual promueve el desarrollo de hongos micorrízicos.

En China, Zhang *et al.* (2010), realizaron una prueba de campo para investigar el efecto del biochar a tasas de 0, 10 y 40 t ha⁻¹ sobre el rendimiento del arroz y las emisiones de CH₄ y N₂O con o sin fertilización nitrogenada en un arrozal de la llanura del Lago Tai, China; para lo cual utilizaron arroz (*Oryza sativa* L., cv. Wuyunjing 7) bajo un régimen de agua convencional; controlaron en el suelo las emisiones de CH₄ y N₂O con el método de cámara cerrada durante toda la temporada de cultivo de arroz (WRGS) a intervalos de 10 días; la aplicación de biochar de 10 t ha⁻¹ y 40 t ha⁻¹ aumentaron los rendimientos de arroz en 12% y 14% en suelos no fertilizados, y en 8.8% y 12.1% en suelos con fertilización nitrogenada, respectivamente; hubo un incremento en las emisiones totales de CH₄-C en el suelo de 34% y 41% en suelos modificados con biochar a 40 t ha⁻¹ en comparación con los tratamientos sin biochar y con o sin fertilización nitrogenada, respectivamente; en suelos modificados con biochar con o sin fertilización nitrogenada, las emisiones totales de N₂O disminuyeron bruscamente en un 40-51% y en un 21-28%, respectivamente; indicaron que el factor de emisión (EF) se redujo de 0.0042 kg N₂O-N kg⁻¹ N fertilizado sin biochar a 0,0013 kg N₂O-N kg⁻¹ N fertilizado con biochar a 40 t ha⁻¹; como resultado principal indicaron que el biochar aumentó significativamente el rendimiento del arroz y disminuyó la emisión de N₂O, pero aumentó las emisiones totales de CH₄; por lo cual, los datos generados en el experimento proporcionaron una base para estimar las posibles reducciones en las emisiones de GEI que podrían lograrse mediante la incorporación de biochar en los suelos de arrozal en el sudeste de China.

Trabajo que nos mostró la eficacia del biocarbón para promover el crecimiento y producción de arroz, así como sus efectos en disminuir los gases de efecto invernadero, el cual contribuyó en la parte metodológica a la investigación.

2.1.2. Nacionales

Palomino (2019) en una investigación desarrollada en el centro poblado Natividad, distrito de Pichari, provincia La Convención, departamento de Cusco, estudió la secuencia de siembra del cultivo asociado de maíz: 5, 10, 15 y 20 días antes de la siembra del frijol caupí, siembra del frijol caupí: 5, 10, 15 y 20 días antes del maíz, siembra simultánea de frijol caupí y maíz y siembra en monocultivo de maíz y frijol caupí, bajo el sistema de agricultura sucesional, con los siguientes objetivos: 1) determinar la mejor secuencia de siembra en asociación frijol caupí – maíz, en agricultura sucesional; 2) determinar el rendimiento de frijol caupí y maíz en monocultivo y asociación en agricultura sucesional; y 3) estimar el índice de rentabilidad de los tratamientos estudiados, en el cual utilizó un diseño estadístico Bloque Completo Randomizado, con 11 tratamientos y 03 bloques; para ello sembró ambas especies, en surcos distanciados a 80 cm y 60 cm entre golpes, utilizando 3 semillas por golpe, en forma intercalada; obtuvo como resultado que la secuencia de siembra más adecuada en el cultivo asociado frijol caupí y maíz fue la siembra de maíz 20, 15 y 10 días antes de la siembra del frijol y siembra de frijol 20 y 15 días antes de la siembra del maíz, con las cuales se obtuvieron mayores rendimientos tanto en maíz y frijol.

Esta investigación proporcionó información valiosa a la metodología, en cuanto al sistema de siembra de maíz y frijol caupí en diferentes períodos de tiempo cortos, asociados y como monocultivos, así como al distanciamiento entre surcos y el número de semillas por golpe.

Ladd *et al* (2018), en Villa Rica-Pasco, trabajó en un proyecto, cuyo objetivo fue evaluar los efectos de la aplicación de biochar en diferentes concentraciones con los N-fertilizantes granulares, para demostrar una forma

potencialmente rentable para promover su uso extendido por agricultores; el diseño experimental fue en bloques completos al azar, con 5 repeticiones por tratamiento, siendo los tratamientos de fertilidad del suelo: 1) 0 kg Urea, 2) 380,5 kg Urea/ha, 3) 285 kg Urea + 95 kg biochar /ha, 4) 190 kg Urea + 190 kg biochar/ha; luego de cuatro meses después de la aplicación de los tratamientos, cosechó el grano de maíz , que fue secado y pesado; los datos obtenidos se analizaron a través de ANOVA y la prueba de Tukeys HSD; y como resultado principal, fue la identificación de los efectos considerables del uso de biochar como co-producto con los N-fertilizantes granulares en el cultivo de maíz, pues obtuvo un aumento en el rendimiento del cultivo y mayor rentabilidad, en comparación con los tratamientos que no usaron biocarbón.

El trabajo nos orientó en la metodología en cuanto a la factibilidad de utilizar biocarbón más fertilizantes y medir sus efectos utilizando como indicador el cultivo del maíz, en el cual tuvo mayor rendimiento y rentabilidad.

Zegarra (2015), utilizó vísceras de pescado y lodos de lagunas de oxidación para elaborar biocarbón a 600°C y los aplicó como enmienda para la mejora de los suelos áridos del distrito de Ancón-Lima, para lo cual empleó cuadrantes de 1m², y en cada cuadrante fue aplicado las enmiendas de biocarbón en porcentajes de 5, 10 y 15%, a excepción del cuadrante control que no recibió nada (0%); obteniendo como resultados una mejora significativa en la velocidad de crecimiento, germinación y estado fitosanitario de la especie *Solanum multifidum* Lam en los cuadrantes que contenían biocarbón resaltando sobre las demás el tratamiento 2 (10% de aplicación en la enmienda), asimismo los resultados de análisis de caracterización de suelos muestran un incremento en los micro y macronutrientes lo que mejoró la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y demostró que el biocarbón mejoró los suelos áridos del distrito de Ancón.

Trabajo que nos ayudó en la metodología a considerar usar los cuescos para fabricar biocarbón, ya que demostró el efecto positivo en la Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo con el uso del biocarbón a partir de vísceras de pescado y lodos de lagunas de oxidación.

Por su parte Ramírez (2014), que realizó un trabajo de tesis de grado en Iquitos-Loreto, sembrando rábano (*Raphanus sativa*), para lo cual utilizó biocarbón con granulometría de menos de 1 cm y mayor de 2 cm, además adicionó a 2 tratamientos NPK y 2 sin fertilizantes, pero los resultados no fueron los esperados, ya que las plantas no lograron un buen desarrollo, por lo cual recomendó usar fertilizantes comerciales.

Este trabajo nos orientó a que en la metodología se considere tamaños de partícula de biocarbón de 2,0; 1,4 y 1,0 y < 1,0 mm.

2.2. Bases teóricas

Investigar es buscar la explicación a los fenómenos para conocerlos mejor, lo cual nos permite transformar la tradicional realidad en la que nos encontramos inmersos, para generar nuevas visiones de un mundo tan cambiante y dinámico. Pero a veces los cambios que generamos, son perjudiciales para nuestro planeta, lo cual nos lleva a buscar alternativas viables para revertir los daños, tal como es el caso de los suelos degradados por el sobrepastoreo, cuyas bases teóricas que sustentan la presente investigación sobre el uso de biocarbón enriquecido para producción sostenible en estos suelos y generar sistemas de cultivo en Ucayali, se relacionan con varias teorías que apoyan la idea y se vincula con el presente proyecto a desarrollar.

Al respecto, el uso de biocarbón (biochar) como una estrategia amigable con el ambiente, para mejorar o recuperar las características fisicoquímicas del suelo, y en las cuales producir diferentes tipos de cultivos, sin uso o con bajas dosis de fertilizantes químicos, han sido reportadas por varios autores. Adicionalmente, la calidad sobre todo nutricional de los alimentos cultivados, para asegurar la alimentación de los más necesitados y que son la mayoría de la población de la región y el país, ha motivado la preocupación y despertado iniciativas individuales y colegiadas, tanto a nivel regional, nacional e internacional. En esa tendencia, se consideran adecuadas las siguientes teorías, que darán fundamento a la estrategia mencionada y sostener la línea de investigación en la cual se enmarca: La crisis ambiental, el sobrepastoreo de suelos y pérdida de su aptitud agronómica, pirólisis de residuos sólidos como estrategia

ambiental, adsorción y desorción de nutrientes en el biocarbón, biocarbón y fisiología vegetal, sostenibilidad agrícola con aplicación de biocarbón, calidad nutricional de alimentos para la seguridad alimentaria, teoría de la sostenibilidad, rotación de cultivos.

2.2.1. La crisis ambiental

Es indudable que las generaciones actuales, enfrentamos hoy una problemática ambiental, que por la magnitud en la cual se desenvuelve, y los efectos negativos que afecta a todo el planeta, han desencadenado en una crisis ambiental a nivel global. Pasemos a enunciar las causas que han llevado a la humanidad a poner en peligro su existencia en la tierra.

a. Teoría antropocentrista

Según de Mantilla (2018), esta teoría, concibe al hombre como el centro del universo por su capacidad de razonar y de actuar, pero esta perspectiva impulsó un modelo de desarrollo económico y político que actualmente está llegando a su fin, por no haber contemplado el respeto por la naturaleza y su uso racional, es decir no consideró la sostenibilidad.

b. De la recolección y la caza a la agricultura y ganadería

Según Casas *et al.* (2016), fue la extinción marcada de la megafauna que aumentó el consumo de vegetales, y que el manejo integral de ecosistemas y domesticación de especies, propició el origen de la agricultura, la ganadería, la piscicultura, la apicultura y otros sistemas para producir recursos hace aproximadamente 11 000 años en el Medio Oriente y unos mil años después en otras partes del mundo; concordando la mayor parte de autores que las presiones sobre la disponibilidad de recursos, fue lo que obligó a la adopción de la agricultura, con la cual se produjo alimentos, y también la evolución en la tecnología de manejar plantas, logrando fenotipos domesticables. Un proceso similar es desde luego aplicable en el desarrollo de sistemas de crianza sistemática y, eventualmente, en la selección artificial de animales.

Esta actividad antiquísima, si bien es cierto ha podido asegurar la supervivencia de los seres humanos, pero su desarrollo incontrolado, guiado por la desmedida ambición de generar dinero, ha llevado a la desaparición total y poner en peligro de extinción hoy a muchas especies de la fauna.

Con respecto al efecto negativo de la agricultura sobre el suelo, Andrade *et al.* (2017), manifiestan que el proceso de degradación del recurso está asociado con la intensidad de las labranzas, la duración de los ciclos agrícolas, la tendencia al monocultivo, y la no reposición de nutrientes, entre otros factores.

Por su parte la ganadería, también tiene gran responsabilidad en la transformación de los ecosistemas naturales, tal como lo manifiesta Castillo (2019), pues el modelo ganadero extensivo y extractivo, que incluye entre sus prácticas tradicionales, las talas, quemas, el monocultivo de gramíneas, sobrepastoreo, la desecación de humedales, el uso indiscriminado de agroquímicos y medicamentos veterinarios, entre otras, generan deterioro en los recursos naturales de la finca, lo que a su vez se manifiesta en baja productividad.

2.2.2. Sobrepastoreo de suelos y pérdida de su aptitud agronómica

Alegre *et al.* (2019), indican que en el trópico húmedo del Perú, el 70% de los bosques que se han deforestado en la Amazonia, han sido establecidos con pastizales para las actividades ganaderas, pero sin utilizar técnicas de manejo adecuadas, llegando a una sobrecarga animal y sobrepastoreo, lo cual ocasiona efectos negativos, como acelerar los procesos de compactación, además, dificultando el desarrollo radicular y disminución de la capacidad de drenaje, del espacio poroso y produciendo la pérdida de nutrientes.

2.2.3. Pirólisis de residuos sólidos como estrategia ambiental

Este proceso de conversión térmica a temperaturas entre 350° a 500°C (Gilces, 2014), es una estrategia ambiental, que permite aprovechar la energía almacenada en los residuos sólidos de las empresas agropecuarias, agrícolas, etc., como por ejemplo de la extracción de aceite de la palma aceitera que genera cuescos (residuos de semillas), del beneficio del cacao (mazorcas vacías), tuzas o corontas de maíz, cascarillas de café, de maní, estiércol de ganado vacuno, ovino, porcino, aves, cuyes, etc., la cual genera por una reacción química endotérmica (Moratorio y Castelli, 2012) combustibles sólidos (biocarbón), líquidos (condensados) y gaseosos. Este carbón obtenido se somete a procesamiento (molienda) del cual se obtiene un producto de grano fino y muy poroso que denominan biochar, que es ampliamente reconocido por sus beneficios en la agricultura y su potencial para secuestrar carbono (Gilces, 2014). Singh (2013), citado por Pantoja (2015) también manifiesta que la reconversión térmica de residuos en biochar, ha sido evaluado como un potencial mejorador del suelo y secuestrador de carbono, pues libera lentamente los gases de efecto invernadero de los agrosistemas al proporcionar superficies de adsorción a contaminantes agroquímicos (insecticidas, plaguicidas, etc.).

2.2.4. Adsorción y desorción de nutrientes en el biocarbón

Con respecto a la adsorción de nutrientes por el biocarbón, ya sea por inmersión en fertilizantes líquidos o por incorporación en pilas de compostaje (enriquecimiento, activación, etc.), y luego a la desorción (entrega) de dichos nutrientes en el suelo para garantizar el buen desarrollo de las plantas, existen pocos estudios. En una investigación, Vithanage *et al.* (2016) sobre la aplicación termodinámica y los modelos cinéticos no lineales para predecir los mecanismos y el comportamiento de la adsorción de carbofurano en biocarbones de cascarilla de arroz y de residuos de té, utilizaron los valores de la entalpia, con las cuales propusieron la intervención de interacciones del tipo de fisisorción, con cuyos datos efectuaron un modelamiento cinéticos, que mostró una contribución a la fisisorción, mediante la difusión en los poros de los biocarbones, la interacción donante-receptor de electrones $\pi^* - \pi$, la unión de H y las fuerzas de dispersión

de van der Waals, y además incluyeron la quimisorción, que permite la remoción del carbofurano, mediante enlaces químicos con grupos fenólicos y aminas; por ello existe la posibilidad de utilizar esta metodología para predecir el comportamiento de los nutrientes durante el enriquecimiento (adsorción) del biocarbón y luego la donación (desorción) de estos nutrientes por parte del biocarbón a las raíces de las plantas para dinamizar su desarrollo.

2.2.5. Biocarbón y fisiología vegetal

Según Paneque *et al.* (2016), que realizaron un experimento de uso de biocarbón de madera de pino, lodo de papel, lodo de aguas residuales y madera de uva, para estimular el crecimiento de plántulas de girasol, mostró que las enmiendas con 15 t ha^{-1} aumentaron ligeramente la capacidad de retención de agua del suelo, pero mostraron un impacto duradero en el pH del suelo, así como estimuló el crecimiento de las plantas y condujo a una mayor área foliar, tallos de plantas más grandes e inflorescencias más amplias de las plantas de girasol que las cultivadas en el suelo sin enmendar.

2.2.6. Sostenibilidad agrícola con aplicación de biocarbón

Según la ONU (2018), mencionado por Segura (2018), investigaciones sobre el uso del biocarbón en la agricultura podrían significar un aporte importante para el cumplimiento de algunos Objetivos del Desarrollo Sostenible, como el ayudar a poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria, mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible; asimismo adoptar medidas para combatir el cambio climático y proteger y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, detener e invertir la degradación de las tierras. La mención del Objetivo de Desarrollo Sostenible sobre el cambio climático, es debida al beneficio que aporta el biocarbón en los suelos ya que permite ser un sumidero importante de CO_2 (Lehmann *et al.* 2011, citados por Segura, 2018).

Al respecto, autores como Etchevers *et al.* (2016), coinciden que es la agricultura moderna, comercial o empresarial, la que más ha afectado y en mayores áreas a la pérdida de la calidad del suelo, que la agricultura

convencional; deterioro causado por prácticas de monocultivo, el uso de químicos, la producción intensiva o la siembra excesiva son factores que han acelerado el deterioro del suelo, razones por las cuales, como métodos de solución a estos problemas, han surgido técnicas consideradas en el manejo agroecológico de los sistemas de producción, como la agricultura sustentable y la sustentabilidad en el manejo del suelo, por medio de la recuperación de la materia orgánica, el incremento de la disponibilidad de nutrientes, la reducción del laboreo, la disminución del uso de agroquímicos.

Se conoce que existe un conflicto muy marcado entre la aplicación del modelo de desarrollo agrícola y la conservación del medio ambiente, por lo cual, urge la necesidad de plantear estrategias que se orienten a desarrollar sistemas de cultivos amigables con el ambiente y de alto rendimiento, por lo cual, el uso del biocarbón enriquecido como enmienda de suelos sobrepastoreados, es una excelente alternativa, en la búsqueda de soluciones viables a tan amplia problemática.

2.2.7. Calidad nutricional de alimentos para la seguridad alimentaria

La desnutrición infantil, es un problema grave en los países en vías de desarrollo, pues su presencia en los niños, se muestra de modo directo por la falta de una alimentación apropiada, con la consecuencia de escasez de energía y nutrientes esenciales para mantener una vida sana y activa. Esto provoca efectos negativos en el desarrollo físico y mental, que conllevan a enfermedades y, en algunas ocasiones, a la muerte, FAO (2013).

La desnutrición infantil se encuentra asociada a la inseguridad alimentaria, a la falta de acceso a alimentos sanos, variados y nutritivos, a un deficiente consumo de nutrientes, sobre todo en la etapa infantil, y en general también a una falta de conocimiento del gran valor que tiene la lactancia materna y la alimentación adicional para niños pequeños (FAO, 2013).

La desnutrición se genera por una mala ingesta de proteínas en la alimentación diaria, debido al alto precio de las carnes, la leche y los huevos, a las cuales no tiene acceso la población más pobre y por cierto vulnerable, las cuales son la principal fuente de proteínas; se hace entendible que también existe una deficiencia en vitaminas y minerales, los cuales se encuentran sobre todo en las frutas y verduras, y el problema de la desnutrición, se agrava, cuando en la dieta se tiene una carencia de micronutrientes importantes como el hierro, el yodo y la vitamina A (que se la encuentra en frutas, hortalizas, legumbres, pescado y otras carnes), la cual es llamada por la UNICEF (2012), citado por FAO (2013), como “hambre oculta”, con la cual aumenta los riesgos para los infantes de sufrir ceguera y retardo en el crecimiento, afectando el coeficiente intelectual e incrementando el riesgo de muerte, situación que se agrava si se tiene en cuenta que en Latinoamérica más de la mitad de todos los recién nacidos, más los niños pequeños y un 38,5% del total de niños sufren de anemia, generado por la carencia de hierro, lo que redundaría en su aprendizaje y rendimiento escolar.

2.2.8. Teoría de la sostenibilidad

Rivera (2018), manifiesta que el término sostenibilidad en sus orígenes está relacionado con la sostenibilidad ecológica, con el impacto del hombre en el medio ambiente y el impacto del consumo de recursos naturales, y sus repercusiones en la perdurabilidad de estos y como teoría, la sostenibilidad se entiende como procesos de cambio, adaptación, autoorganización y equilibrios permanentes para ajustar las relaciones de los sistemas ecológicos, económicos y sociales dentro de un sistema global y único.

2.2.9. Asociación de cultivos

Según Núñez (2020), es la práctica de sembrar dos a más especies vegetales en el mismo terreno para lograr favorecer a los cultivos, con lo cual se logra los siguientes beneficios:

- Reducir las necesidades de labranza.
- Reducir el uso de maquinaria.

- Evitar problemas de compactación del suelo.
- La arquitectura del policultivo con diferentes tamaños de hoja y tallo tiene las siguientes ventajas:
 - Intersección de agua más lentamente.
 - El agua lava las hojas y el tallo, de los cuales se recogen nutrientes para ser incorporados al suelo.
 - La infiltración del agua en el suelo es lenta, lo que permite retener la humedad.
 - Se reduce la intensidad de la luz que llega al suelo.
 - Ayudan a reducir la evaporación del sistema agrícola.
 - Retienen los suelos.
 - Mejoran la fertilidad del suelo.
 - Añaden materia orgánica continuamente.
 - Proporcionan más nutrientes
 - Se produce un intercambio de nutrientes más estable.
 - El gasto de energía es menor en ese sistema de producción.
 - Son mayores las posibilidades de comercialización.

2.3. Bases conceptuales

Con la finalidad de describir el contexto en el que se originó y se desarrolló el presente trabajo, se manejaron conceptos que involucraron a la problemática ambiental de la región, el país y el mundo.

- **Agricultura sustentable:** Es aquella agricultura que intenta proporcionar rendimientos sostenidos a largo plazo, mediante el uso de tecnología y prácticas de manejo que mejoren la eficiencia biológica del sistema. Además, busca una distribución justa y equitativa de los costos y beneficios asociados con la producción agrícola; se preocupa por el rescate crítico de las prácticas de manejo utilizadas por diferentes etnias y culturas, y busca reducir las desigualdades actuales en el acceso a recursos productivos (Altieri, 2011, citado por Tonolli, 2019).

- **Biocarbón:** Producto natural de la combustión incompleta durante los incendios forestales o se produce deliberadamente como biochar en sistemas técnicos de pirólisis en condiciones bajas o cero de oxígeno, Schmidt *et al.* (2017).
- **Calidad nutricional:** Condición que presentan los productos cuando en su composición química proximal, se encuentran las biomoléculas que generan masa y energía al organismo como proteínas de alto valor biológico, carbohidratos, grasas, fibras, minerales y vitaminas.
- **Cambio climático:** Modificación del clima a grandes escalas de tiempo, usualmente décadas, y en relación a períodos históricos comparables, debido a causas naturales, externas o internas a la tierra, o antrópicas, y con ocurrencias en el pasado geológico (Quintero-Angel *et al.* (2012).
- **Pirólisis:** Descomposición térmica que ocurre en ausencia de oxígeno. La pirólisis siempre es el primer paso en los procesos de combustión y gasificación, seguido de una oxidación total o parcial de los productos primarios, Klug (2012).
- **Seguridad alimentaria:** Condición en la cual todas las personas tienen en todo momento acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias en cuanto a los alimentos a fin de llevar una vida activa y sana (FAO (2013).
- **Sistema agrícola:** Consiste de elementos que incluyen: un área de cultivo, producción y equipamientos para siembra y cosecha, limpieza del terreno, cosecha e incluso un mercado donde comercializar los productos.
- **Suelo sobrepastoreado:** Es el suelo que ha sufrido la compactación por las pisadas del ganado vacuno que pasta sobre su superficie, el cual le genera compactación, mayor erosión y pérdida de su capa superficial por escorrentía.

2.4. Bases filosóficas

El presente estudio se sustenta en la corriente filosófica del Positivismo, la Hermenéutica y la Sociología Crítica, pues el problema de determinar los efectos de la aplicación del biocarbón enriquecido en la producción sostenible de sistemas de cultivos conformados por maíz-frijol caupí, parte de la experiencia positiva en el uso del biocarbón por el autor, en la búsqueda de mejorar la calidad de vida de las personas más vulnerables que sufren desnutrición y que se traduce en hambre, partiendo de la observación del problema de la pérdida de la productividad de los suelos degradados en la localidad, así como de las causas que lo originaron, para plantear en base a resultados de investigaciones de otros autores, soluciones viables.

2.5. Bases epistemológicas

En la búsqueda de comprender el problema de la degradación de los suelos, y plantear las soluciones para su recuperación, lo cual es un asunto de carácter universal, se plantea que la conservación de los suelos, es de urgente necesidad hoy en día, pues sustenta las diversas formas de vida, y, se convierte en la base del desarrollo de la agricultura, pero con el crecimiento de la población mundial, ha hecho de ser un bien común, pasó a convertirse en un recurso limitado, y, hoy se ha vuelto un bien económico escaso, que, por su mal manejo, se está conduciendo hacia su degradación.

“La responsabilidad ética con el cuidado de la tierra como suelo cultivable, no es sólo un asunto técnico propio de los agricultores, de los ingenieros agrónomos y de los investigadores de la ciencia del suelo, sino que compete a todos los seres humanos, ya que aún desde una visión técnico utilitarista, además de ser un recurso para la producción de alimentos, fibras, entre otros, es un sistema que cumple las funciones de soporte de la biodiversidad, regula el ciclo del agua y amortigua los impactos de las acciones antrópicas. Si entendemos el suelo de esta manera, ningún ser vivo sobre el planeta escapa a las dinámicas ya sea de origen antrópico o naturales que actúan sobre él. El cuidado de la tierra, en este contexto ha dado origen a una subdisciplina de la ciencia del suelo: la conservación de suelos. No hay duda de que en esta línea se ha avanzado, pero aún falta mucho por hacer, sobre todo en la concepción y enfoque del

uso, manejo y conservación de los suelos, en donde se ha carecido de una reflexión ética sobre lo que involucra el cuidado de la tierra” (Tobasura et al., 2015).

2.6. Bases antropológicas

Se hace necesario plantear una estrategia de manejo sustentable de los suelos, por parte de los agricultores, proporcionando principios ecológicos y culturales, así como bases metodológicas, considerando conocimientos técnicos, para orientar hacia una práctica agronómica para el desarrollo sustentable de la región y el país, lo cual puede sustentarse en trabajos de investigación, desarrollada por autores como Leveau (2018) que experimentó la aplicación de biocarbón obtenido de residuos verdes y estiércol de cerdo en San Ramón-Perú, concluyendo que las enmiendas en base a biochar tuvieron un efecto positivo en el rendimiento del cultivo del maíz; de mismo modo Ladd *et al.* (2018), que experimentaron en Villa Rica-Perú, el uso de biocarbón mezclado con N-fertilizantes granulares, obteniendo como resultado principal, efectos considerables del uso de biochar como co-producto con los N-fertilizantes granulares en el cultivo de maíz, y un aumento en el rendimiento del cultivo y mayor rentabilidad, en comparación con la ausencia de biochar en la fertilización; así Briones (2017) en Vinces-Los Ríos-Ecuador, experimentó la aplicación de biocarbón en cultivo de pimiento, obteniendo resultados satisfactorios en la altura y diámetro de la planta, en el tamaño y diámetro del fruto, y en el rendimiento, con una dosis de 5 t ha^{-1} ; en Zapopan-Jalisco-México, Martínez (2015), experimentó enmiendas de biocarbón, obtenido de residuos agroindustriales como bagazo de agave, viruta de madera de álamo y olote (O) en cultivo de pepino y sus resultados mostraron en base al análisis nutricional en hojas y tallos, una variación en los tratamientos de los experimentos, concluyendo que el biochar de agave fue la mejor enmienda para mejorar las características del suelo y para el desarrollo de la planta de pepino.

CAPÍTULO III. SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1. Formulación de las hipótesis

3.1.1. General

H₀: La aplicación de biocarbón enriquecido, no influye en la producción sostenible de cultivos en Ucayali.

H₁: La aplicación de biocarbón enriquecido, influye en la producción sostenible de cultivos en Ucayali.

3.1.2. Específicas

H₀: La caracterización física y química del biocarbón enriquecido, indica que no posee propiedades adecuadas para su uso en la producción sostenible de cultivos en Ucayali.

H₁: La caracterización física y química del biocarbón enriquecido, indica que si posee propiedades adecuadas para su uso en la producción sostenible de cultivos en Ucayali.

H₀: La caracterización de los suelos antes y después de la aplicación del biocarbón enriquecido, no muestra efectos favorables en las características de los suelos.

H₁: La caracterización de los suelos antes y después de la aplicación del biocarbón enriquecido, muestra efectos favorables en las características de los suelos.

H₀: La evaluación de la fisiología, la producción, y, las características biométricas, de los cultivos de maíz y frijol caupí, rotativos, y, asociados, indica efectos similares con aplicación del biocarbón enriquecido.

H₁: La evaluación de la fisiología, la producción, y, las características biométricas, de los cultivos de maíz y frijol caupí, rotativos, y, asociados, indica efectos diferentes con aplicación del biocarbón enriquecido.

H₀: La caracterización nutricional de las semillas de maíz y frijol caupí, cultivados en asociación, con aplicación de biocarbón enriquecido, muestra valores iguales de proteínas y grasas.

H₁: La caracterización nutricional de las semillas de maíz y frijol caupí, cultivados en asociación, con aplicación de biocarbón enriquecido, muestra valores diferentes de proteínas y grasas.

3.2. Operacionalización de variables

Las variables consideradas en la investigación fueron:

Independiente

Biocarbón enriquecido.

Dependiente

Producción sostenible de sistemas de cultivos.

Interviniente

Clima de la zona de estudio.

En la Tabla 1, se muestra la operacionalización de las variables en estudio.

3.3. Definición operacional de las variables

Con respecto a la variable independiente, **biocarbón enriquecido**, sus características **físicas** fueron determinadas mediante:

Humedad: Referida a la cantidad de agua que presentó la variable independiente, expresada en porcentaje.

Tabla 1**Operacionalización de variables**

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
Independiente: Biocarbón enriquecido (X)	Características Físicas:	Humedad: %
		Densidad Aparente: g/cm ³
		Conductividad Eléctrica: dS/m
		Dosis: t ha ⁻¹
		pH
	Características Químicas:	Materia Orgánica (MO): %
		Carbono (C): %
		Nitrógeno (N): %
		P: %
		K: %
Ca: %		
Mg: %		
Na: %		
Fe: ppm		
Cu: ppm		
Dependiente: Producción sostenible de sistemas de cultivos (Y)	Fisiología de las plantas de maíz y frijol caupí	Tiempo en que alcanza el 50% de inflorescencia: días
		Altura promedio de la planta: cm
		Altura promedio de las mazorcas en la planta: cm
		Diámetro promedio de mazorca: cm
		Longitud promedio de mazorca (cm)
	Producción de maíz y frijol caupí	N° promedio de mazorcas o vainas/planta: unidades
		Peso promedio de mazorca/vaina: g
		Peso promedio del grano/mazorca o vaina: g/mazorca o vaina
		Peso promedio de 100 granos: g
		Rendimiento promedio de grano/hectárea: t/h
Características biométricas de las semillas	Longitud: cm	
	Ancho: cm	
	Espesor: cm	
Características nutricionales de las semillas	Proteínas: %	
	Grasa: %	

Densidad aparente: Comprendió la relación existente entre la masa y el volumen que ocupó la variable independiente, expresado en g/cm^3 .

Granulometría: Se consideró al tamaño de partícula que presentó la variable independiente, medida en mm.

Conductividad eléctrica: Capacidad de la variable independiente de conducir la energía eléctrica, la cual fue expresada en dS/m .

Dosis: Cantidad de biocarbón enriquecido en té de estiércol, que se agregó al suelo degradado a fin de mejorar sus características físicas, químicas y microbiológicas, que fue establecido en t/ha.

Las características **químicas**, fueron determinadas midiendo:

pH: Expresó el grado de acidez o basicidad que presentó el biocarbón enriquecido, la cual comprendió una escala entre 1 y 14, expresando los valores de 1 a 6 como acidez; el valor 7, como valor neutro; y, la escala del 8 al 14, el grado de basicidad.

Materia orgánica: Cantidad de materia biodegradable que presentó el biocarbón enriquecido, y que se expresó en %.

Carbono: Elemento principal que fue determinado a fin de establecer la calidad del biocarbón enriquecido, medido en %.

Nitrógeno: Elemento importante que presentó la variable independiente, para los microorganismos y las plantas, que se expresó en %.

Fósforo, Potasio, Calcio y Magnesio: Compuestos químicos, los cuales son indispensables para las plantas y microorganismos, los cuales fueron determinados en la variable independiente, en %.

Sodio: Elemento determinado en el biocarbón enriquecido, expresándose en %.

Fierro, Cobre, Zinc, Manganeso y Boro: Elementos que son de importancia para plantas y microorganismos, fueron determinados en el biocarbón enriquecido a nivel de trazas, por lo cual su valor, fue expresado en ppm.

Plomo, Cadmio y Cromo: Fueron la expresión de la presencia de metales pesados en el biocarbón enriquecido, los cuales fueron medidos en ppm.

En cuanto a la variable dependiente: **Producción sostenible de sistemas de cultivos**, en la **fisiología** de las plantas de maíz y frijol caupí, se orientó a determinar:

Tiempo en que alcanza el 50% de inflorescencia: Se limitó a medir los días que fueron necesarios para que las plantas inicien la floración, por lo cual se midió en días.

Altura promedio de la planta: Permitió establecer la altura promedio a la que llegó la planta como producto de su desarrollo fisiológico, el cual fue medido en cm.

Altura promedio de las mazorcas en la planta: Esta medición, se orientó a determinar la altura promedio a la cual se formaron las mazorcas en las plantas, cuyas mediciones se expresaron en cm.

Diámetro promedio de mazorca: Este indicador permitió determinar la longitud promedio que alcanzaron las mazorcas y se mostró en cm.

Longitud promedio de mazorca: Es indicador permitió establecer el tamaño promedio que alcanzaron las mazorcas, expresándose en cm.

La **Producción de maíz y frijol caupí**, fue determinada mediante:

Nº promedio de mazorcas o vainas/planta: Indicador que fue medido en base al número promedio de mazorcas o vainas que se formaron en cada planta.

Peso promedio de las mazorcas o vainas: De la misma forma, se determinó el peso promedio de las mazorcas o vainas, desarrolladas en cada planta, expresándose en g.

Peso promedio del grano/mazorca o vaina: Indicador que permitió obtener el peso promedio de los granos de cada mazorca o vaina seleccionada, la cual se expresó en g.

Peso promedio de 100 granos: Dato que permitió determinar en conjunto, la masa de un centenar de granos, que se midió en g.

Rendimiento promedio de grano/hectárea: Este indicador fue determinado, a fin de conocer el rendimiento promedio de granos de la parcela experimental, por la que se expresó en $t\ ha^{-1}$.

Las **Características biométricas de las semillas**, comprendió mediciones de:

Longitud, ancho y espesor: Datos que sirvieron para conocer el tamaño promedio logrado por las semillas, que estuvo expresado en cm.

Del mismo modo, las **Características nutricionales de las semillas**, se determinaron mediante:

Proteínas y grasas: Características que nos permitieron conocer los aportes nutricionales de las semillas, que fue expresada en %.

CAPÍTULO IV. MARCO METODOLÓGICO

4.1. Ámbito

La presente investigación se desarrolló en el fundo “El Cedro”-Patoyacu, comprensión Asentamiento Humano “Acho Mego”, distrito de Yarinacocha, provincia de Coronel Portillo, región Ucayali. Las coordenadas del lugar son: 18L 454829 y UTM 9077178.

4.2. Tipo y nivel de investigación

La investigación fue de tipo aplicada y de campo, que buscó aportar soluciones al problema de la baja productividad de los suelos sobrepastoreados, usando como enmienda, la incorporación de biocarbón enriquecido y midiendo sus efectos, en los cultivos de maíz y frijol caupí.

Se enmarcó en un nivel explicativo, pues al tratarse de un estudio experimental, buscó explicar la correlación causal entre el uso del biocarbón enriquecido como mejorador del suelo sobrepastoreado y el comportamiento fisiológico, productivo y nutricional en las semillas de maíz y frijol caupí cultivados en estos suelos degradados y mejorados.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Descripción de la población

En el caso del maíz, estuvo conformada por 648 plantas de maíz, obtenidas por siembra, con distanciamientos de 0,8 m entre hileras por 0,5 m entre filas, y en frijol caupí, estuvo conformada por 360 plantas, sembradas a un distanciamiento de 0,8 m entre hileras por 1,20 m entre filas; semillas fueron proporcionadas por el Instituto de Innovación Agraria-INIA, oficina Pucallpa, siendo la variedad INIA 616 para el maíz y Ojo Negro para el frijol caupí.

4.3.2. Muestra y método de muestreo

Por tratarse de una población finita, el tamaño de muestra se determinó por la fórmula (Murray y Larry, 2009):

$$n_c = \frac{(z_\alpha)^2(N)(p)(q)}{i^2(N - 1) + (z_\alpha)^2(p)(q)}$$

donde:

- n_c = Número de muestras de plantas de maíz y frijol caupí
- N = Población de plantas de maíz (648) y frijol caupí (360)
- p = Probabilidad de éxito, 0,90
- q = Probabilidad de fracaso, 0,10
- z_α = 0,95 = 1,96 área bajo la curva normal estandarizada
- i = Error permisible, 5% o 0,05

Reemplazando valores, se obtuvo un tamaño de muestra de 120 plantas de maíz, y, 96 plantas de frijol caupí.

4.3.3. Criterios de inclusión y exclusión

Los criterios de inclusión comprendieron:

- Suelos con características de sobrepastoreo (compactados).
- Suelos con presencia de malas hierbas como especies predominantes en su superficie.
- Suelos con características de pH ácido y bajo contenido de materia orgánica.
- Cultivos de excelente comportamiento fisiológico y productivo, que actúan como indicadores de la aplicación de enmiendas agrícolas: maíz y frijol caupí.
- Cultivos con excelentes características nutricionales de sus semillas: maíz y frijol caupí.

Los criterios de exclusión considerados fueron:

- Suelos que presentaban excelentes características físicas y químicas.

- Suelos con abundante y variada vegetación.
- Suelos cultivables.
- Cultivos de lenta reacción a la aplicación de enmiendas agrícolas.

4.4. Diseño de investigación

Comprendió un diseño experimental conocido como Diseño de solo Post-test con grupo control. El diagrama fue el siguiente:



La descripción del diseño se muestra en la Tabla 2, la cual nos explica las características del diseño utilizado.

Tabla 2

Descripción del diseño experimental de la investigación

Asignación aleatoria	Intervención	Observaciones Post-test
R_{experimental} (parcelas sujetas a experimentación)	X (Aplicación de diferentes dosis de biocarbón enriquecido)	O₁ (Observaciones de características fisiológicas y producción de cultivos, características biométricas y características nutricionales de las semillas)
R_{control} (parcelas no sujetas a experimentación)		O₂ (Observaciones de características fisiológicas y producción de cultivos, características biométricas y características nutricionales de las semillas)

Notación experimental:

R = Se utilizó para indicar la asignación aleatoria de las parcelas con las cuales se desarrolló el experimento.

O = (De observación) se utilizó para referirse al proceso de medición en las unidades experimentales. Las unidades experimentales fueron las plantas de maíz y frijol caupí, cuya respuesta al tratamiento experimental fue probado.

X = Fue utilizado para indicar la intervención (diferentes dosis de biocarbón enriquecido).

Diseño estadístico

El diseño experimental utilizado fue un experimento simple mediante un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), compuesto por 4 tratamientos (T_1 , T_2 , T_3 y T_4), el cual incluyó un control (T_1) y que correspondió a 0, 5, 10 y 15 t h⁻¹ de biocarbón enriquecido respectivamente, designados en forma aleatoria con 3 réplicas (III bloques); en dos (02) campañas de cultivos de maíz y frijol caupí, tal como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3

Diseño DBCA a utilizar en la investigación

Bloques	Dosis de biocarbón enriquecido (T ha ⁻¹)			
	0	5	10	15
I	103	102	104	101
II	204	201	202	203
III	303	302	304	301

Para determinar los efectos de los tratamientos se aplicó el Diseño de Bloques Completos al Azar, en 3 bloques, por lo cual el modelo aditivo lineal quedó establecido como:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

$$i = 1, 2, \dots, t \quad j = 1, 2, \dots, r$$

μ = Media

τ_i = Efecto del tratamiento i

β_j = Efecto del bloque j

ε_{ij} = Efecto del error experimental de la unidad experimental i, j

4.5. Técnicas e instrumentos

Procedimientos

a. Fabricación de biocarbón

- Los cuescos obtenidos en la empresa productora fueron secados solarmente por 3 días, a fin de disminuir su contenido de humedad.
- Luego se los pesó, para determinar rendimiento.
- Fueron envasados y almacenados en un lugar seco y fresco.
- Trasladados al terreno experimental, se los carbonizó mediante pirólisis, utilizando dos carbonizadores tipo PhilRice de estilo abierto.
- Luego el biocarbón fue molido, tamizado, obteniéndose 3 tamaños de partículas.
- Luego fue envasado en bolsas de polietileno, de acuerdo al tamaño.
- Una vez sellados, las bolsas con el biocarbón molido se almacenaron en un ambiente limpio y seco.

b. Elaboración de biol

- El estiércol vacuno, se colocó en el interior de una galonera de 20 litros.
- Se adicionó el agua, la levadura, el suero de queso, el jugo de caña y las cenizas.
- Luego se mezcló todos los insumos, se agitó la galonera que fue usado como reactor, en cuya tapa se acondicionó un pequeño tubo al cual se acopló una manguera delgada para evacuar los gases generados en el proceso de fermentación.
- Se dejó en reposo en un lugar fresco (bajo un árbol), y se dejó fermentar anaeróbicamente durante 84 días, removiendo periódicamente cada semana. El término de la fermentación, se determinó mediante una prueba con el alcohol de 96°, el cual al ser vertido sobre una muestra del biol, se formó una capa sobre la superficie a modo de nata o crema de leche.

c. Determinación de las características físicas y químicas del biocarbón y biocarbón enriquecido

- El biocarbón que fue obtenido en tres tamaños, fue formulado en base a 6 kg, mezclando 2,5 kg de biocarbón de menor tamaño; 1,4 kg de tamaño mediano y 2,1 kg de mayor tamaño, del cual se tomó 1,0 kg como muestra para su análisis. Los tamaños de partícula se muestran en la Tabla 6.
- Luego se diluyó una parte de biol con nueve partes de agua (1 biol:9 agua).
- Luego 6 kg de biocarbón se sumergió en 15 litros de biol diluido.
- Se agitó la mezcla suavemente con un remo de madera y se dejó en reposo por 8 días, agitando todos los días. Para su análisis, se tomó como muestra, también 1,0 kg de biocarbón tratado con biol.
- Las muestras de biocarbón y biocarbón enriquecido, se remitieron a los Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina, ubicada en la ciudad de Lima, donde se caracterizó propiedades físicas como humedad (%), densidad aparente (g/cm^3), conductividad eléctrica (dS/m) y dosis (th^{-1}). Las características químicas determinadas fueron: pH, materia orgánica (%), C (%), N (%), P (%), K (%), Mg (%), Na (%), Fe (ppm), Cu (ppm), Zn (ppm), Mn (ppm), B (ppm), Pb (ppm), Cd (ppm) y Cr (ppm), cuyos resultados se encuentran en la Tabla 8 y Tabla 9.

d. Determinación de las características físicas y químicas de los suelos

- Del suelo de cada una de las 12 parcelas, a una profundidad de 20 cm, se tomaron cinco muestras, usando un muestreo en “equis” (X), luego, todas las muestras fueron homogenizadas en una sola, de la cual se tomó 0,5 kg, la cual fue depositada en una bolsa ziploc, la cual se selló herméticamente.
- Luego se llevó a almacenar a refrigeración, hasta su envío a los laboratorios.
- Las muestras se remitieron al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina, de la ciudad de Lima, donde efectuaron análisis de D (g/cm^3), pH, MO (%), C (%), N (%), P (%), K (%), Ca^{+2} (meq/100 g), Mg (meq/100 g) y CIC (meq/100 g).

e. Aplicación de biocarbón enriquecido a los suelos

- El terreno experimental, se dividió en 3 bloques y 12 parcelas, cuyas medidas fueron: 2,4 m ancho x 5 m largo (12 m² cada parcela), a las cuales se asignó los tratamientos aleatoriamente, la misma, primero recibió tratamiento mecanizado y luego manual, donde se abrieron surcos al centro, depositando en ellos el biocarbón enriquecido, de acuerdo a las dosis establecidas como tratamientos.
- Luego se procedió a cubrir el biocarbón enriquecido con el suelo, y con una lampa, se removió suavemente hasta lograr mezclar ambos de forma homogénea.
- Los suelos mezclados con el biocarbón enriquecido, se dejaron 3 días en reposo para promover la adaptación de los microorganismos al nuevo hábitat.

f. Determinación de las características físicas y químicas de los suelos intervenidos con biocarbón enriquecido

- Los suelos de las parcelas, luego de recibir la enmienda de biocarbón enriquecido, fueron sometidos a un muestreo, de la misma forma como se realizó con el suelo no intervenido.
- Las muestras se tomaron a 20 cm de profundidad, usando la técnica en “equis” (X), las cuales se homogenizaron, y, luego se tomó 0,5 kg de la muestra y se envasó en bolsas ziploc, que inmediatamente fue sellada, llevada a almacenar en refrigeración.
- Las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina, de la ciudad de Lima, para su análisis de D (g/cm³), pH, MO (%), C (%), N (%), P (%), K (%), Ca⁺² (meq/100 g), Mg (meq/100 g) y CIC (meq/100 g), cuyos valores se muestran en la Tabla 11.
- Posteriormente los datos obtenidos, fueron sistematizados en las Hojas de cálculo (Excel) y procesadas mediante el software estadístico Statgraphics Centurion XVI.

g. Siembra de maíz y frijol caupí

- Teniendo en cuenta el calendario agronómico de la región y proporcionado por la Oficina de Estadística del Ministerio de Agricultura, primero se sembró y cosechó maíz (*Zea mays*), y, luego frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp), es decir una rotación en la primera campaña, (maíz: julio-octubre 2017, frijol caupí: junio-setiembre 2018), y, una segunda campaña de cultivo asociado (noviembre 2021-febrero2022).
- A medida que fue transcurriendo el tiempo de cultivo de las plantas, se determinó los cambios en su fisiología y en la producción de las semillas, con la toma de datos respectivos.
- Luego los datos obtenidos, se sistematizaron usando las Hojas de cálculo (Excel) y se procesaron con el programa informático Statgraphics Centurion XVI.

h. Efectos en la fisiología de las plantas de maíz y frijol caupí

- Se orientó a determinar tiempo en que alcanzan el 50% de inflorescencia (días), altura promedio de la planta (cm), altura promedio de las mazorcas en la planta (cm), diámetro promedio de mazorca (cm) y longitud promedio de mazorca y vainas (cm).
- Los datos se sistematizaron en el programa Excel y se procesaron en Statgraphics Centurion XVI.

i. Efectos en la producción de maíz y frijol caupí

- Los datos determinados fueron N° promedio de mazorcas o vainas/planta (unidades), peso promedio de mazorca o vaina (g), peso promedio del grano/mazorca o vaina (g/mazorca o g/vaina), peso promedio de 100 granos (g), rendimiento promedio de grano por hectárea ($t\ ha^{-1}$).
- Los resultados de las determinaciones fueron sistematizados en Excel y procesados en Statgraphics Centurion XVI.

j. Efectos en las características biométricas de los granos

- Se tomó datos de longitud (cm), ancho o diámetro (cm), y, espesor (cm).
- Los datos obtenidos, se sistematizaron usando las Hojas de cálculo (Excel) y se procesaron con el Programa informático Statgraphics Centurion XVI.

k. Efectos en las características nutricionales de los granos

- Las semillas de maíz y frijol caupí fueron analizados para determinar: Proteínas (%), y, grasas (%), en el laboratorio de la empresa Sociedad de Asesoramiento Técnico-SAT, de la ciudad de Lima.
- Los resultados, fueron sistematizados en el programa Excel y procesados en Statgraphics Centurion XVI.

4.5.1. Técnicas

Las técnicas de recojo, procesamiento y el modo como se presentaron los datos, se indican en la Tabla 4.

Tabla 4

Técnicas de recojo, procesamiento y presentación de datos

TÉCNICA	FINALIDAD
Análisis documental	Hizo posible el análisis de la información proveniente de libros, folletos, revistas, boletines, periódicos, etc., de los cuales recogimos datos sobre las variables de interés, mediante consultas en artículos de bases de datos (UNIVERSIA, DIALNET, ECURED, SCIENCE DIRECT, DOAJ, Scielo, entre otras), y tesis publicadas en diferentes bibliotecas virtuales del país o el exterior.
Observación de campo	Permitió el registro de las observaciones que se realizaron en campo, sobre la fisiología, producción y características del suelo.
Observación experimental	Permitió la recopilación de los resultados obtenidos con los equipos de laboratorio calibrados previamente, utilizados en los diferentes tipos de análisis a las que se sometieron las muestras de suelo, plantas y frutos.
Sistematización computarizada	Hizo posible el registro en una base de datos (programas informáticos) obtenidos con los

cuales se realizó el análisis para lograr la comprensión de los fenómenos.

4.5.2. Instrumentos

En la Tabla 5, se indican los instrumentos que se emplearon para la recolección de la información, así como el propósito de cada uno de ellos.

Tabla 5

Definición operativa de instrumentos de recolección de datos

INSTRUMENTO	PROPÓSITO
Ficha bibliográfica	Sintetizó la información obtenida del análisis documental en base al tema y las variables a investigar.
Ficha de observación de campo	Mostró los datos que se tomaron en campo en cuanto a la respuesta tanto del suelo y las plantas de maíz y frijol caupí a la aplicación del biocarbón de cuescos de palma aceitera enriquecido en biol de estiércol.
Ficha de registro de datos y Hojas de resultados de experimentos	Otorgó información de los resultados de las pruebas a las que se sometieron las muestras de suelo, plantas y frutos.
Hojas de cálculo (Excel) y Programas informáticos (STATGRAPHICS CENTURION XVI)	Analizó los datos para determinar la significancia estadística de los resultados obtenidos, con los cuales se confeccionó los cuadros, tablas y gráficos, que permitieron una mejor comprensión de los resultados obtenidos.

4.5.2.1. Validación de los instrumentos para la recolección de datos

La validación de los instrumentos de investigación estuvo a cargo de los siguientes profesionales:

- Ph.D. Julio César Alegre Orihuela: Docente adscrito al Departamento Académico de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Dra. Beatriz Sales Dávila: Responsable del Laboratorio de Suelos, Plantas y Abonos del Instituto Nacional de Innovación Agraria-INIA, Estación Experimental Agraria Pucallpa.

- Dr. Edwin Miranda: Docente adscrito al Departamento Académico de Ingeniería Agroforestal Acuícola de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia-UNIA.

- Dr. Juan García Ruíz: Docente del Departamento Académico de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia-UNIA.

- Dr. Juan López Ruíz: Docente adscrito al Departamento Académico de Humanidades y Pedagogía Intercultural de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia-UNIA.

4.5.2.2. Confiabilidad de los instrumentos para la recolección de datos

La confiabilidad comprendió el análisis que hicieron los profesionales que actuaron como expertos, otorgando un valor a cada indicador de las Fichas de Validación diseñado para comprobar la pertinencia de los instrumentos que mostraban el efecto del biocarbón enriquecido con biol de vacaza en las propiedades del suelo, el desarrollo y productividad de las plantas, las características nutricionales de las semillas y los efectos de la concientización en los agricultores.

4.6. Técnica para el procesamiento y análisis de datos

Tabulación

Consistió en determinar qué datos de los resultados de las variables de estudio, necesitaron ser analizadas, a fin de dar respuesta al problema y objetivos planteados, empleándose un plan de tabulación, que consistió en reunir los datos en cuadros estadísticos en función de los objetivos e hipótesis que permitieron la presentación de la información en forma clara y sistemática para su posterior análisis.

Se hizo de forma manual y con la ayuda de un sistema y programas de cómputo (Word, Excel).

La información obtenida, fue sometida al análisis respectivo, a fin de observar las tendencias o relaciones causales que existieron entre las variables independiente y dependientes, y se hizo a través del programa estadístico Statgraphics Centurion XVI que nos permitió conocer el nivel de significancia de dichas relaciones, para luego redactar las interpretaciones de acuerdo a los datos observados, para posteriormente emitir las conclusiones en función a los objetivos planteados y las recomendaciones pertinentes.

4.7. Aspectos éticos

En la ejecución de la investigación se tuvo mucho cuidado en mantener los aspectos éticos, tales como evitar el plagio de la información, tener la autorización de los responsables de las empresas como TIROL (estiércol vacuno, suero de queso), OLAMSA (cuescos de palma aceitera), y, del propietario del fundo “El Cedro” donde se instaló la parcela experimental, previa explicación de la naturaleza, los objetivos, la finalidad e importancia de la investigación.

CAPÍTULO V. RESULTADOS

5.1. Análisis descriptivo

Fabricación de biocarbón

La fabricación del biocarbón, se realizó a partir de los parámetros que se muestran en la Tabla 6, así como el rendimiento obtenido.

Tabla 6

Parámetros empleados en la fabricación de biocarbón y rendimiento

Peso cuesco (kg)	Temperaturas pirólisis (°C)		Tiempo pirólisis (h)	Tamaño (mm)	Peso biocarbón (kg)	Rendimiento (%)
	Mínima	Máxima				
350,0	457,6	576,9	8	≤ 1,0; 1,4; 2,0	153,4	44,0

Elaboración de biol

El biol se elaboró, utilizando residuos de la actividad pecuaria y agroindustrial, los cuales se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7

Insumos y porcentajes utilizados en la formulación del biol

Insumo	Cantidad utilizada	(Kg)	(%)
Estiércol vacuno (kg)	13,0	13,00	32,50
Agua (L)	24,0	24,00	60,00
Suero de queso (L)	2,0	2,05	5,15
Jugo de caña (L)	0,5	0,53	1,30
Cenizas (kg)	0,4	0,40	1,00
Levadura (g)	20,0	0,02	0,05
Total		40,00	100,00

Caracterización física y química del biocarbón

El biocarbón se elaboró, utilizando los cuescos de la palma aceitera, que son los residuos generados por la agroindustria palmicultora de la extracción de aceite, mediante pirólisis, cuyas características físicas y químicas se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8*Características físicas y químicas del biocarbón de cuercos de palma aceitera*

Características	Valores
H (%)	15,28
pH	7,85
Rendimiento (%)	43,83
CE (dSm ⁻¹)	0,72
MO (%)	5,43
C (%)	55,32
N (%)	0,63
P (%)	0,21
K (%)	0,54
Ca (%)	0,16
Mg (%)	0,12
Na (%)	0,28
Fe (ppm)	315,00
Cu (ppm)	14,00
Zn (ppm)	24,00
Mn (ppm)	119,00
B (ppm)	28,00
Pb (ppm)	25,35
Cd (ppm)	1,75
Cr (ppm)	0,50

Nota. Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (2019).**Caracterización física y química del biocarbón enriquecido**

El biocarbón, producto de su inmersión en el biol diluido presentó las características físicas y químicas que se indican en la Tabla 9.

Tabla 9*Características físicas y químicas del biocarbón enriquecido*

Características	Valores
H (%)	57,70
pH	7,24
CE (dSm ⁻¹)	0,87
MO (%)	8,68
C (%)	16,85
N (%)	0,73
Características	Valores
P (%)	0,37
K (%)	0,61
Ca (%)	0,19

Mg (%)	0,20
Na (%)	0,26
Fe (ppm)	159,00
Cu (ppm)	22,00
Zn (ppm)	27,00
Mn (ppm)	233,00
B (ppm)	26,00
Pb (ppm)	25,30
Cd (ppm)	1,50
Cr (ppm)	0,60

Nota. Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (2019).

Caracterización físico química de los suelos

Los resultados obtenidos de la caracterización de los suelos antes y después de la aplicación del biocarbón, se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10

Caracterización física y química de los suelos antes de la aplicación del biocarbón enriquecido

Bloque	Parc.	Trat.	Características									
			D (g/cm ³)	pH	MO	C	N	P	K	Ca ⁺²	Mg	CIC
			(%)			(ppm)			(meq/100g)			
I	1	1	1,40	5,00	0,67	0,39	0,001	5,30	71,00	1,46	0,57	8,80
	4	2	1,41	4,98	0,90	0,82	0,002	3,65	63,00	1,35	1,52	7,52
	3	3	1,39	5,00	0,70	0,48	0,001	4,14	58,21	1,38	0,84	11,65
	2	4	1,51	5,00	0,96	0,96	0,001	5,23	62,14	1,45	1,56	8,54
Prom			1,43	5,00	0,81	0,66	0,001	4,58	63,59	1,41	1,12	9,13
II	6	1	1,41	5,27	1,90	1,10	0,002	4,10	76,23	2,64	1,27	7,68
	7	2	1,38	5,51	1,72	1,00	0,001	3,70	43,00	3,56	2,06	6,89
	5	3	1,36	5,35	1,76	1,50	0,001	4,53	58,00	1,98	1,59	7,78
	8	4	1,51	5,18	1,80	1,10	0,002	5,86	73,50	2,24	2,27	8,12
Prom			1,42	5,33	1,80	1,18	0,002	4,55	62,68	2,61	1,80	7,62
III	12	1	1,20	5,57	2,06	1,66	0,003	4,78	56,00	2,78	0,97	10,45
	9	2	1,36	5,62	2,86	1,25	0,001	3,70	46,28	4,14	2,05	8,36
	10	3	1,30	5,63	2,67	1,46	0,001	5,62	72,96	3,54	1,75	12,32
	11	4	1,58	5,52	2,61	1,10	0,002	3,34	54,00	4,21	2,14	11,21
Prom			1,36	5,59	2,55	1,37	0,002	4,36	57,31	3,67	1,73	10,59

Nota. Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (2019).

Aplicación de biocarbón enriquecido a los suelos

La aplicación consistió en agregar el biocarbón enriquecido a los suelos, según fueron aleatorizados, y tratamiento asignado, por ello, a las parcelas sorteadas para recibir el T₂ (5 t ha⁻¹), se les agregó 6 kg de biocarbón enriquecido en el biol de vacaza, a las parcelas designadas para recibir el T₃ (10 t ha⁻¹), se les agregó 12 kg del biocarbón enriquecido, y, a las parcelas sorteadas para recibir el T₄ (15

t ha⁻¹), se les agregó 18 kg de biocarbón enriquecido en el biol bovino, y, las designadas como T₁ (0 t ha⁻¹), no recibieron nada de la enmienda agrícola.

Caracterización físico química de los suelos intervenidos con la enmienda de biocarbón enriquecido

Los resultados obtenidos de la caracterización de los suelos después de la aplicación del biocarbón, se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11

Caracterización física y química de los suelos después de la aplicación del biocarbón enriquecido

Bloque	Parc.	Trat.	Características									
			D (g/cm ³)	pH	MO	C	N	P	K	Ca ⁺²	Mg	CIC
			(%)			(ppm)		(meq/100g)				
I	1	1	1,34	6,67	2,16	1,25	0,10	1,90	117,00	4,52	1,21	6,23
	4	2	1,31	6,42	1,78	1,03	0,08	3,30	148,20	4,16	0,91	5,55
	3	3	1,32	6,83	2,21	1,28	0,10	5,07	206,70	5,03	1,14	6,81
	2	4	1,33	6,50	2,11	1,22	0,10	1218	117,00	4,21	1,16	5,88
Prom.			1,33	6,61	2,07	1,20	0,10	5,61	147,23	4,48	1,11	6,12
II	6	1	1,32	6,79	2,32	1,35	0,10	1,40	81,90	4,63	1,23	6,17
	7	2	1,32	6,88	2,49	1,44	0,11	2,92	117,00	5,45	1,37	7,32
	5	3	1,33	6,37	1,69	0,98	0,08	6,72	148,20	4,06	1,32	5,86
	8	4	1,31	6,58	2,65	1,54	0,12	14,46	152,10	4,47	1,09	6,05
Prom.			1,32	6,66	2,29	1,33	0,10	6,38	124,80	4,65	1,25	6,35
III	12	1	1,30	6,00	2,72	1,58	0,12	6,72	113,10	4,83	1,28	6,49
	9	2	1,33	6,42	2,75	1,60	0,12	3,93	152,10	4,52	1,16	6,27
	10	3	1,33	6,27	2,86	1,66	0,13	7,86	159,90	4,58	1,25	6,44
	11	4	1,31	6,46	2,37	1,37	0,11	18,14	144,30	6,89	1,41	8,87
Prom.			1,32	6,29	2,68	1,55	0,12	9,16	142,35	5,21	1,28	7,02

Nota. Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (2019).

Para efectuar el análisis estadístico, se preparó la Tabla 12, donde se consignó, las diferencias obtenidas, de las características físicas y químicas de los suelos, considerando los valores logrados después de la aplicación del biocarbón enriquecido, menos los valores obtenidos antes de la aplicación de la enmienda agrícola, pues, se tomó en cuenta, que el valor de la diferencia, se constituyó en el indicador referente, que mostraba de modo directo, el efecto de la aplicación del biocarbón enriquecido, en las características del suelo, estudiadas en la presente investigación.

Tabla 12

Diferencias obtenidas en las características físicas y químicas de los suelos antes y después de la aplicación del biocarbón enriquecido

Bloque	Parc.	Trat.	Características									
			D (g/cm ³)	pH	MO	C	N	P	K	Ca ⁺²	Mg	CIC
I	1	1	-0,06	1,67	1,49	0,86	0,099	-3,40	46,00	3,06	0,64	-2,57
	4	2	-0,10	1,44	0,88	0,51	0,078	-0,35	85,20	2,81	-0,61	-1,97
	3	3	-0,07	1,83	1,51	0,87	0,099	0,93	148,49	3,65	0,30	-4,84
	2	4	-0,18	1,50	1,15	0,66	0,099	6,95	54,86	2,76	-0,40	-2,66
Prom.			-0,10	1,61	1,26	0,73	0,094	1,03	83,64	3,07	-0,02	-3,01
II	6	1	-0,09	1,52	0,42	0,25	0,098	-2,70	5,67	1,99	-0,04	-1,51
	7	2	-0,06	1,37	0,77	0,44	0,109	-0,78	74,00	1,89	-0,69	0,43
	5	3	-0,03	1,02	-0,07	-0,04	0,079	2,19	90,20	2,08	-0,27	-1,92
	8	4	-0,20	1,40	0,85	0,50	0,118	8,60	78,60	2,23	-1,18	-2,07
Prom.			-0,09	1,33	0,49	0,29	0,101	1,83	62,12	2,05	-0,55	-1,27
III	12	1	0,10	0,43	0,66	0,39	0,117	1,94	57,10	2,05	0,31	-3,96
	9	2	-0,03	0,80	-0,11	-0,06	0,119	0,23	105,82	0,38	-0,89	-2,09
	10	3	0,03	0,64	0,19	0,11	0,129	2,24	86,94	1,04	-0,50	-5,88
	11	4	-0,27	0,94	-0,24	-0,14	0,108	14,80	90,30	2,68	-0,73	-2,34
Prom.			-0,04	0,70	0,13	0,08	0,118	4,80	85,04	1,54	-0,45	-3,57

Efectos del biocarbón enriquecido en la fisiología de las plantas de maíz como único cultivo rotacional

La Tabla 13, muestra los resultados obtenidos del efecto de la aplicación del biocarbón enriquecido en biol de vacaza, en la fisiología del maíz, como cultivo único.

Tabla 13

Efecto de la aplicación de biocarbón enriquecido en la fisiología del maíz como cultivo único

Bloque	Trat.	50% florescencia (días)	Altura planta (cm)	Altura mazorca en planta (cm)	Diámetro mazorca (cm)	Longitud mazorca (cm)
I	1	49,00	114,86	41,00	3,79	9,00
	2	52,00	88,31	29,92	3,72	10,55
	3	48,00	107,93	40,21	4,00	11,61
	4	48,00	97,86	35,07	3,70	7,79
Prom		49,25	102,24	36,05	3,80	9,74
II	1	48,00	86,50	29,50	3,97	12,36
Bloque	Trat.	50% florescencia (días)	Altura planta (cm)	Altura mazorca en planta (cm)	Diámetro mazorca (cm)	Longitud mazorca (cm)
II	2	48,00	102,43	33,36	3,89	9,97
	3	48,00	98,93	39,57	3,66	10,62

	4	49,00	85,33	27,08	3,49	9,13
Prom		48,25	93,30	32,38	3,75	10,52
III	1	50,00	90,77	38,23	3,75	10,20
	2	51,00	80,86	28,43	3,52	9,92
	3	50,00	87,15	34,00	3,74	9,28
	4	47,00	91,42	36,50	3,78	10,52
Prom		49,50	87,55	34,29	3,70	9,98

Efectos en la producción de maíz como único cultivo rotacional

La Tabla 14, muestra los resultados obtenidos del efecto de la aplicación del biocarbón enriquecido en biol de vacaza, en la producción de maíz, como cultivo único.

Tabla 14

Efecto de la aplicación de biocarbón enriquecido en la producción de maíz como cultivo único

Bloque	Trat.	Número mazorcas/planta	Peso mazorca (g)	Peso grano/mazorca (g)	Peso 100 granos (g)	Rendimiento grano/ha (t ha ⁻¹)
I	1	1,00	26,54	58,40	2,00	1,11
	2	1,00	33,45	84,14	2,00	1,39
	3	2,00	26,32	109,02	1,90	1,10
	4	2,00	31,48	53,42	2,10	1,31
Prom		1,50	29,45	77,00	2,00	1,23
II	1	1,00	23,18	73,68	1,90	0,97
	2	1,00	32,78	64,80	1,70	1,37
	3	1,00	28,56	75,10	1,80	1,19
	4	2,00	36,25	46,98	1,90	1,51
Prom		1,25	30,19	65,14	1,83	1,26
III	1	1,00	22,63	69,92	1,90	0,94
	2	1,00	31,24	66,48	1,90	1,30
	3	1,00	32,51	70,50	2,10	1,35
	4	1,00	32,53	67,94	1,90	1,36
Prom		1,00	29,73	68,71	1,95	1,24

Efectos en las características biométricas de los granos de maíz como único cultivo rotacional

La Tabla 15, muestra los resultados obtenidos del efecto de la aplicación del biocarbón enriquecido en biol de vacaza, en las características biométricas del maíz, como cultivo único.

Tabla 15

Efecto de la aplicación de biocarbón enriquecido en las características biométricas del maíz como cultivo único rotacional

Bloque	Trat.	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)
I	1	0,80	0,52	0,21
	2	1,00	0,43	0,22
	3	0,80	0,56	0,18
	4	0,80	0,60	0,20
Prom		0,85	0,53	0,20
II	1	1,00	0,30	0,16
	2	1,00	0,28	0,17
	3	0,80	0,61	0,24
	Trat.	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)
	4	0,80	0,57	0,19
Prom		0,90	0,44	0,19
III	1	0,80	0,25	0,18
	2	0,80	0,38	0,18
	3	1,00	0,48	0,14
	4	1,00	0,58	0,23
Prom		0,90	0,42	0,18

Efectos del biocarbón enriquecido en la fisiología de las plantas de frijol caupí como único cultivo rotacional

La Tabla 16, muestra los resultados obtenidos del efecto de la aplicación del biocarbón enriquecido en biol de vacaza, en la fisiología del frijol caupí, bajo la modalidad de cultivo único rotacional.

Tabla 16

Efecto de la aplicación de biocarbón enriquecido en la fisiología del frijol caupí como cultivo único

Bloque	Trat.	50% florecencia (días)	Altura planta (cm)	Longitud mazorca (cm)
I	1	55,00	45,00	21,60
	2	53,00	46,00	20,90
	3	52,00	34,00	21,10
	4	52,00	42,00	21,20
Prom		53,00	41,75	21,20
II	1	54,00	39,00	16,00
	2	54,00	46,00	19,50
	3	53,00	35,00	20,80
	4	54,00	44,00	20,70

Prom		53,75	41,00	19,25
III	1	53,00	37,00	20,60
	2	54,00	40,00	19,60
	3	53,00	37,00	19,80
	4	52,00	37,00	20,30
Prom		53,00	37,75	20,08

Efectos en la producción de frijol caupí como único cultivo rotacional

La Tabla 17, muestra los resultados obtenidos del efecto de la aplicación del biocarbón enriquecido en biol de vacaza, en la producción del frijol caupí, bajo la modalidad de cultivo único rotacional.

Tabla 17

Efecto de la aplicación de biocarbón enriquecido en la producción del frijol caupí como cultivo único rotacional

Bloque	Trat.	Número vainas/planta	Peso vaina (g)	Peso grano/vaina (g)	Peso 100 granos (g)	Rendimiento grano/ha (t ha ⁻¹)
I	1	9,00	2,86	25,20	10,00	3,68
	2	26,00	3,04	28,52	10,00	3,91
	3	17,00	2,92	29,24	9,50	3,75
	4	26,00	3,40	28,60	11,00	4,37
Prom		19,50	3,06	27,89	10,13	3,93
II	1	24,00	1,92	10,82	5,00	2,47
	2	22,00	2,22	18,28	9,00	2,85
	3	24,00	2,82	24,36	9,50	3,63
	4	18,00	3,12	35,16	11,00	4,01
Prom		22,00	2,52	22,16	8,63	3,24
III	1	17,00	2,50	12,00	9,00	3,21
	2	26,00	2,46	20,48	9,00	3,16
	3	24,00	2,24	16,56	10,00	2,88
Prom		22,75	2,34	17,07	8,88	3,01

Efectos en las características biométricas de los granos de frijol caupí como único cultivo rotacional

La Tabla 18, muestra los resultados obtenidos del efecto de la aplicación del biocarbón enriquecido en biol de vacaza, en las características biométricas del frijol caupí, como cultivo único rotacional.

Tabla 18

Efecto de la aplicación de biocarbón enriquecido en las características biométricas del grano de frijol caupí como cultivo único rotacional

Bloque	Trat.	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)
I	1	0,82	0,60	0,45
	2	0,91	0,65	0,46
	3	0,90	0,64	0,44
	4	0,88	0,59	0,46
Prom		0,88	0,62	0,45
II	1	0,83	0,60	0,45
	2	0,92	0,64	0,46
	3	0,86	0,62	0,45
	4	0,90	0,60	0,46
Prom		0,88	0,62	0,46
III	1	0,84	0,61	0,44
	2	0,86	0,61	0,45
	3	0,81	0,62	0,45
	4	0,89	0,64	0,45
Prom		0,85	0,62	0,45

Efectos del biocarbón enriquecido en la fisiología de las plantas de maíz como cultivo asociado

Los efectos de la aplicación del biocarbón enriquecido en biol de vacaza, en la fisiología del maíz, como cultivo asociado, se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19

Efecto de la aplicación de biocarbón enriquecido en la fisiología del maíz como cultivo asociado

Bloque	Trat.	50% florencia (días)	Altura planta (cm)	Altura mazorca en planta (cm)	Diámetro mazorca (cm)	Longitud mazorca (cm)
I	1	47,00	58,60	36,52	2,30	14,53
	2	48,00	108,80	31,52	2,88	14,72
	3	49,00	43,80	35,14	2,30	12,50
	4	48,00	97,60	28,32	2,15	14,63
Prom		48,00	75,20	32,88	2,41	14,10
II	1	47,00	106,60	28,47	2,70	17,00
	2	48,00	81,60	32,28	2,96	18,20
	3	48,00	115,80	40,82	3,40	18,30
	4	50,00	56,80	26,58	2,50	14,63
Prom		48,75	90,20	32,04	2,89	17,03
III	1	49,00	63,40	30,20	2,10	16,07
	2	47,00	118,00	29,83	3,54	18,64

	3	50,00	98,00	35,72	2,90	16,06
	4	48,00	116,60	32,64	3,10	18,92
Prom		48,75	99,00	32,10	2,91	17,42

Efectos del biocarbón enriquecido en la producción de las plantas de maíz como cultivo asociado

Los efectos de la aplicación del biocarbón enriquecido en biol de vacaza, en la producción del maíz, como cultivo asociado, se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20

Efecto de la aplicación de biocarbón enriquecido en la producción de maíz como cultivo asociado

Bloque	Trat.	Número mazorcas/planta	Peso mazorca (g)	Peso grano/mazorca (g)	Peso 100 granos (g)	Rendimiento grano/ha (t ha ⁻¹)
I	1	1,00	10,35	45,28	1,60	0,06
	2	2,00	25,27	71,25	1,60	0,09
	3	1,00	6,70	62,37	1,80	0,12
	4	1,00	12,07	48,21	2,20	0,12
Prom		1,25	13,60	57,03	1,80	0,10
II	1	2,00	14,72	47,26	1,50	0,05
	2	1,00	34,43	69,58	1,90	0,08
	3	1,00	31,43	64,28	1,70	0,11
	4	2,00	15,06	53,42	1,60	0,10
Prom		1,50	23,91	58,64	1,68	0,09
III	1	1,00	11,36	58,34	1,80	0,04
	2	1,00	61,85	56,84	2,00	0,01
	3	1,00	27,07	57,36	2,00	0,09
	4	2,00	52,43	62,85	1,80	0,11
Prom		1,25	38,18	58,85	1,90	0,09

Efectos del biocarbón enriquecido en las características biométricas de los granos de maíz como cultivo asociado

La Tabla 21, muestra los resultados obtenidos del efecto de la aplicación del biocarbón enriquecido en biol de vacaza, en las características biométricas del maíz, como cultivo asociado.

Tabla 21

Efecto de la aplicación de biocarbón enriquecido en las características biométricas del maíz como cultivo asociado

Bloque	Trat.	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)
I	1	0,60	0,48	0,19
	2	0,80	0,41	0,21
	3	0,70	0,48	0,24
	4	0,70	0,54	0,19
Prom		0,70	0,48	0,21
II	1	0,50	0,42	0,20
	2	0,60	0,53	0,16
	3	0,60	0,51	0,19
	4	0,90	0,56	0,17
Prom		0,65	0,51	0,18
III	1	0,60	0,39	0,16
	2	0,70	0,64	0,17
	3	0,70	0,61	0,16
	4	1,00	0,51	0,22
Prom		0,75	0,54	0,18

Efectos del biocarbón enriquecido en las características nutricionales de los granos de maíz como cultivo asociado

La Tabla 22, muestra los resultados obtenidos del efecto de la aplicación del biocarbón enriquecido en biol de vacaza, en las características nutricionales del maíz, como cultivo asociado.

Tabla 22

Efecto de la aplicación de biocarbón enriquecido en las características nutricionales del maíz como cultivo asociado

Bloque	Trat.	Proteína (%)*	Grasa (%)*
I	1	11,36	4,28
	2	8,68	5,34
	3	9,61	4,07
Bloque	Trat.	Proteína (%)*	Grasa (%)*
I	4	12,21	4,36
Prom		10,47	4,51
II	1	10,86	5,33
	2	10,76	4,39
	3	10,64	4,82
	4	10,61	4,77
Prom		10,72	4,83
III	1	10,91	5,55

	2	11,02	6,16
	3	9,62	4,62
	4	9,83	4,04
Prom		10,35	5,09

* Base seca.

Nota. Sociedad de Asesoramiento Técnico-SAT (2022).

Efectos del biocarbón enriquecido en la fisiología de las plantas de frijol caupí como cultivo asociado

En la Tabla 23, se muestra los resultados obtenidos del efecto de la aplicación del biocarbón enriquecido en biol de vacaza, en la fisiología del frijol caupí, bajo la modalidad de cultivo asociado.

Tabla 23

Efecto de la aplicación de biocarbón enriquecido en la fisiología del frijol caupí como cultivo asociado

Bloque	Trat.	50% inflorescencia (días)	Altura planta (cm)	Longitud vaina (cm)
I	1	53,00	38,00	19,60
	2	51,00	42,00	22,80
	3	52,00	37,00	18,06
	4	51,00	42,00	17,48
Prom		51,75	39,75	19,49
II	1	52,00	41,00	19,80
	2	53,00	38,00	19,64
	3	53,00	39,00	20,54
	4	52,00	43,00	22,34
Prom		52,50	40,25	20,58
III	1	51,00	38,00	17,30
	2	55,00	43,00	17,56
	3	52,00	41,00	17,30
	4	53,00	35,00	18,54
Prom		52,75	39,25	17,68

Efectos del biocarbón enriquecido en la producción de las plantas de frijol caupí como cultivo asociado

En la Tabla 24, se muestra los resultados obtenidos del efecto de la aplicación del biocarbón enriquecido en biol de vacaza, en la producción del frijol caupí, bajo la modalidad de cultivo asociado.

Tabla 24

Efecto de la aplicación de biocarbón enriquecido en la producción del frijol caupí como cultivo asociado

Bloque	Trat.	Número vainas/planta	Peso vaina (g)	Peso grano/vaina (g)	Peso 100 granos (g)	Rendimiento grano (t ha ⁻¹)
I	1	12,00	2,44	18,74	16,60	3,14
	2	24,00	2,92	29,98	21,20	3,75
	3	15,00	1,64	13,48	12,60	2,11
	4	24,00	1,66	9,58	11,20	2,13
Prom		18,75	2,17	17,95	15,40	2,78
II	1	22,00	1,96	15,84	14,20	2,52
	2	18,00	1,86	13,82	11,40	2,39
	3	22,00	2,24	21,06	15,00	2,88
	4	20,00	2,38	13,02	15,40	3,06
Prom		20,50	2,11	15,94	14,00	3,06
III	1	18,00	1,92	14,28	13,60	2,47
	2	21,00	1,82	11,80	14,40	2,34
	3	23,00	1,22	14,76	13,00	1,57
	4	22,00	1,98	15,50	16,60	2,55
Prom		21,00	1,74	14,09	14,40	2,23

Efectos del biocarbón enriquecido en las características biométricas de los granos de frijol caupí como cultivo asociado

La Tabla 25, muestra los resultados obtenidos del efecto de la aplicación del biocarbón enriquecido en biol de vacaza, en las características biométricas del frijol caupí, como cultivo asociado.

Tabla 25

Efecto de la aplicación de biocarbón enriquecido en las características biométricas del frijol caupí como cultivo asociado

Bloque	Trat.	Longitud (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)
I	1	0,76	0,58	0,38
	2	0,86	0,60	0,42
	3	0,88	0,56	0,42
	4	0,86	0,48	0,42
Prom		0,84	0,56	0,41
II	1	0,81	0,56	0,40
	2	0,75	0,57	0,41
	3	0,83	0,60	0,39
	4	0,86	0,54	0,45
Prom		0,81	0,57	0,41
III	1	0,79	0,51	0,41
	2	0,84	0,58	0,41
	3	0,87	0,58	0,42

	4	0,84	0,61	0,42
Prom		0,84	0,57	0,42

Efectos del biocarbón enriquecido en las características nutricionales de los granos de frijol caupí como cultivo asociado

La Tabla 26, muestra los resultados obtenidos del efecto de la aplicación del biocarbón enriquecido en biol de vacaza, en las características nutricionales del frijol caupí, como cultivo asociado.

Tabla 26

Efecto de la aplicación de biocarbón enriquecido en las características nutricionales del frijol caupí como cultivo asociado

Bloque	Trat.	Proteína (%)*	Grasa (%)*
I	1	27,65	1,52
	2	28,08	1,46
	3	27,22	1,53
	4	27,70	1,49
Prom		27,66	1,50
II	1	27,65	1,60
	2	27,48	1,47
	3	27,50	1,48
	4	27,38	1,58
Prom		27,50	1,53
III	1	27,89	1,53
	2	27,69	1,51
	3	27,92	1,44
	4	27,59	1,50
Prom		27,77	1,50

* Base seca.

Nota. Sociedad de Asesoramiento Técnico-SAT (2022).

5.2. Análisis inferencial y/o contrastación de hipótesis

Análisis de varianza de la D, pH, MO, C, N, P, K, Ca+2, Mg, y, CIC de los suelos intervenidos con biocarbón enriquecido

Los resultados del análisis de varianza de la densidad, materia orgánica, carbono, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, y, capacidad de intercambio catiónico, de los suelos que recibieron la enmienda agrícola, se muestran en la Tabla 27.

Tabla 27

Resumen del análisis de varianza de las características físicas y químicas de los suelos intervenidos con biocarbón enriquecido

Fuente de variación	G.L.	Valor-P									
		D	pH	MO	C	N	P	K	Ca ⁺²	Mg	CIC
Efectos principales											
A: Bloques	2	0,405 ^{ns}	0,0050*	0,0227*	0,0236*	0,1332 ^{ns}	0,0644 ^{ns}	0,4016 ^{ns}	0,0383*	0,0295*	0,0186*
B: Tratamientos	3	0,0262*	0,9450 ^{ns}	0,7438 ^{ns}	0,7300 ^{ns}	0,9475 ^{ns}	0,0011*	0,0558 ^{ns}	0,4541 ^{ns}	0,0026*	0,0246*
Residuos	6										
Total (corregido)	11										

* = Significativo

ns = No significativo

G.L. = Grados de libertad

Los resultados mostrados del análisis de varianza (Tabla 27), nos indican que, en la D, P, Mg, y, CIC, de los suelos intervenidos con biocarbón enriquecido en biol bovino, ha existido efecto de los tratamientos, a un $P < 0,05$, con un 95,0% de nivel de confianza.

La aplicación de las diferentes dosis de biocarbón enriquecido, a los suelos, en los bloques, tal como se observa en la Tabla 13, no mostraron un efecto estadísticamente significativo, el pH, la MO, el C, el N, el K, y, el Ca⁺², por efecto de los tratamientos, a un $P < 0,05$, con un nivel de confianza del 95,0%, pero si a nivel de bloques.

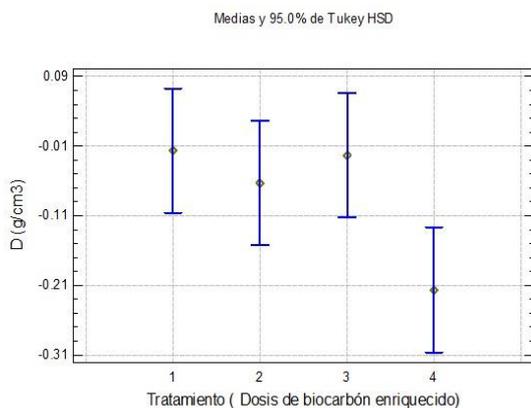
Análisis de las medias de la D, pH, MO, C, N, P, K, Ca+2, Mg, y, CIC de los suelos intervenidos con biocarbón enriquecido

El análisis a nivel de medias, de la densidad, materia orgánica, carbono, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, y, capacidad de intercambio catiónico, de los suelos que recibieron la enmienda agrícola, se muestran en la Figura 1.

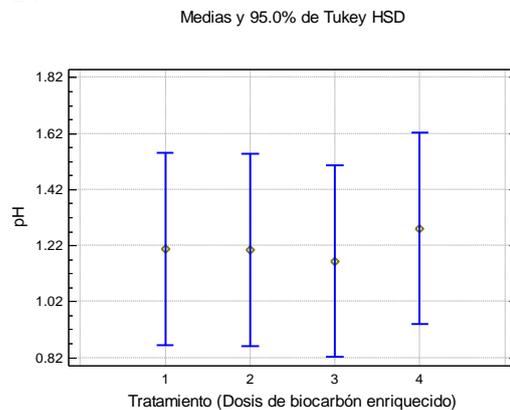
Figura 1

Efecto del biocarbón enriquecido en las características físicas y químicas de los suelos intervenidos

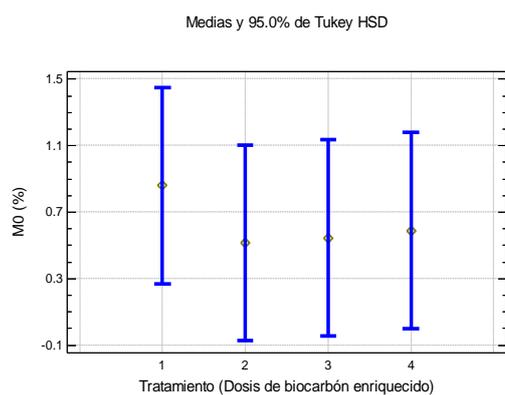
A.



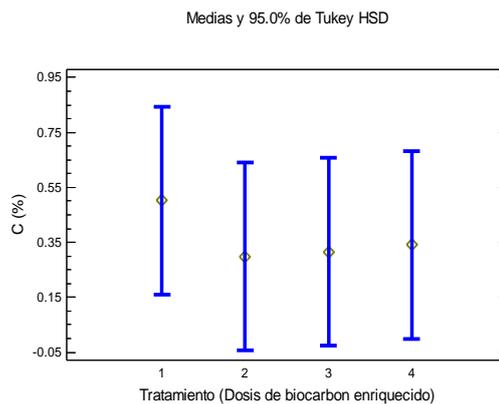
B.



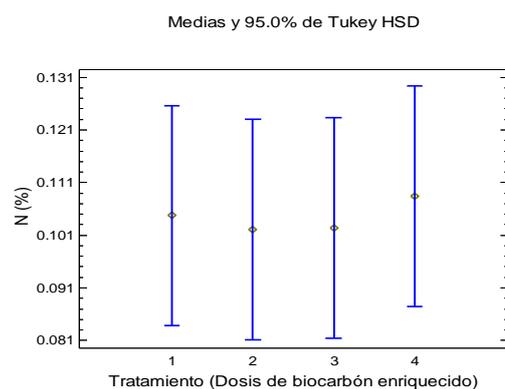
C.



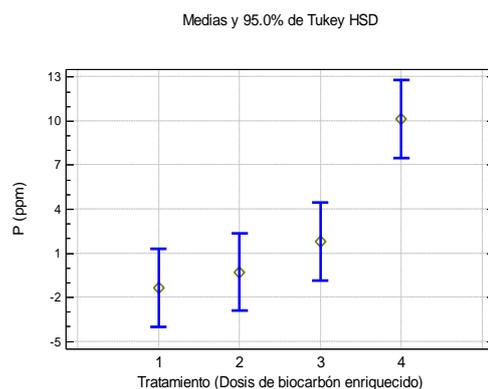
D.



E.

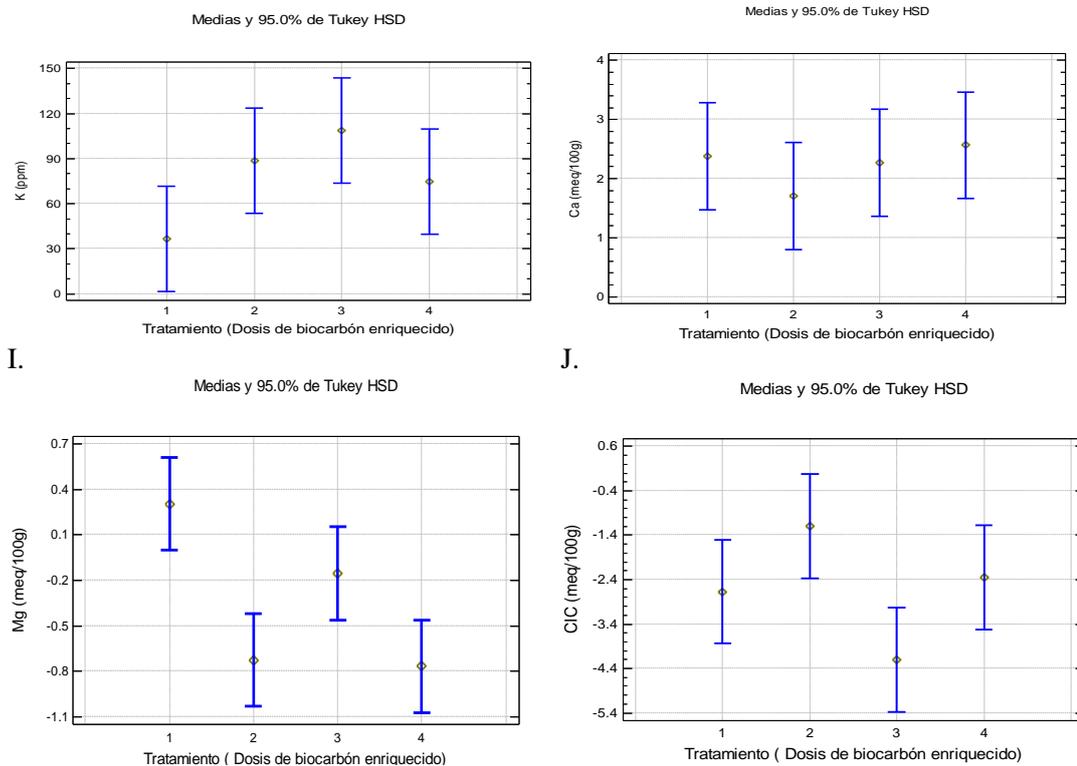


F.



G.

H.



Tal como lo muestra la Figura 1A, las medias de los valores de la densidad del suelo, por efecto del tratamiento T₄ (15 t ha⁻¹), es el que muestra menor valor de la densidad.

Al analizar Figura 1B, se observó el efecto del tratamiento T₄ (15 t ha⁻¹) como el que incrementó el pH de los suelos.

El gráfico (Figura 1C) correspondiente a la MO, mostró un mayor contenido de la misma, con T₁ (0 t ha⁻¹), es decir, en aquellos suelos que no recibieron el biocarbón enriquecido, pero el T₄ (15 t ha⁻¹), es el que tiene un leve efecto, en comparación con los demás tratamientos, para incrementar la MO, resultados contrarios al de otras investigaciones.

El valor de las medias, en la Figura 1D, indican los resultados de la aplicación de las diferentes dosis del biocarbón enriquecido en biol, donde el suelo, sin enmienda (T₁, 0 t ha⁻¹), mostró mayor contenido de C, seguido del T₄ (15 t ha⁻¹)

lo cual está en correspondencia con la MO, que también arrojó resultados similares.

Aun cuando, no existe significancia en el contenido de N, de los suelos por la aplicación del biocarbón enriquecido, en la Figura 1E, se observa una ligera ventaja de la media, por efecto del tratamiento T₄ (15 t ha⁻¹).

A nivel de medias, el T₄ (15 t ha⁻¹) (Figura 1F), fue el que incrementó, de manera notable el contenido de P, de los suelos que recibieron el biocarbón enriquecido.

El análisis del valor de las medias de la Figura 1G, muestra que el T₃ (10 t ha⁻¹), tiene un mayor efecto en el K del suelo intervenido con el biocarbón enriquecido.

La Figura 1H, indica un mayor efecto en el Ca⁺² del suelo, por efecto del T₄ (15 t ha⁻¹), aun cuando no mostró significancia, como resultado de que el Ca⁺², es un elemento fertilizante, de acción retardada.

En el Mg, la Figura 1I, indica que el valor de la media de T₀ (0 t ha⁻¹), es la que muestra el mayor valor, seguido del T₃ (10 t ha⁻¹), a pesar de no mostrar significancia en el factor tratamientos.

La Figura 1J, indica que el T₂ (10 t ha⁻¹), es el que tuvo mayor influencia en la CIC, de los suelos que recibieron el biocarbón enriquecido en biol bovino.

Análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en la fisiología del maíz como cultivo único rotacional

Los resultados del análisis de varianza de los días de inflorescencia al 50%, altura de la planta, altura de la mazorca en la planta, diámetro de la mazorca, y, longitud de la mazorca del maíz, producto de la aplicación del biocarbón enriquecido, como cultivo único, se muestran en la Tabla 28.

Tabla 28

Resumen del análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en la fisiología del maíz como cultivo único rotacional

Fuente de variación	G.L.	Valor-P				
		50% de florescencia	Altura planta	Altura mazorca en planta	Diámetro mazorca	Longitud mazorca
Efectos principales						
A: Bloques		0,4596 ^{ns}	0,1785 ^{ns}	0,5035 ^{ns}	0,7095 ^{ns}	0,7226 ^{ns}
B: Tratamientos		0,3154 ^{ns}	0,7094 ^{ns}	0,2679 ^{ns}	0,6010 ^{ns}	0,6021 ^{ns}
Residuos						
Total (corregido)						

ns = No significativo

G.L. = Grados de libertad

El análisis de varianza de la Tabla 28, indica que, a nivel del factor de tratamientos, no existió efecto de la aplicación del biocarbón enriquecido en biol de vacaza, en el tiempo de floración al 50%, la altura de la planta, la altura de la mazorca en la planta, el diámetro de la mazorca, y, longitud de la mazorca, pues no se evidencia diferencia estadística significativa a un $P < 0,05$, con un nivel de confianza del 95,0%, en la producción de maíz, como cultivo único rotacional.

Análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en la producción de maíz como cultivo único rotacional

Los resultados del análisis de varianza del número de mazorcas/planta, peso de la mazorca, peso del grano/mazorca, peso de 100 granos, y, rendimiento de grano/hectárea, producto de la aplicación del biocarbón enriquecido, como cultivo único, se muestran en la Tabla 29.

Tabla 29

Resumen del análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en la producción de maíz como cultivo único rotacional

Fuente de variación	G.L.	Número mazorcas/planta	Peso mazorca	Valor-P		
				Peso grano/mazorca	Peso 100 granos	Rendimiento grano/ha
Efectos principales						
A: Bloques	2	0,2441 ^{ns}	0,9243 ^{ns}	0,5074 ^{ns}	0,1154 ^{ns}	0,9136 ^{ns}
B: Tratamientos	3	0,1890 ^{ns}	0,0189*	0,2092 ^{ns}	0,6878 ^{ns}	0,0183*
Residuos	6					
Total (corregido)	11					

* = Significativo

ns = No significativo

G.L. = Grados de libertad

La Tabla 29, muestra el análisis de varianza, en los cuales, a nivel de peso promedio de mazorca, y, rendimiento de grano por hectárea, han resultado con efectos estadísticamente significativos, a un $P < 0,05$, con un nivel de confianza del 95,0%, por efecto de los tratamientos con biocarbón enriquecido en biol bovino, de los suelos intervenidos. Al contrario, en el número de mazorcas por planta, peso del grano por mazorca, y, peso de 100 granos, no resultaron con efecto estadísticamente significativo a un $P < 0,05$, con un nivel de confianza de 95,0%.

Análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en las características biométricas del grano de maíz como cultivo rotacional

Los resultados del análisis de varianza de la longitud, ancho, y, espesor del grano de maíz, producto de la aplicación del biocarbón enriquecido, como cultivo único, se muestran en la Tabla 30.

Tabla 30

Resumen del análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en las características biométricas de los granos de maíz como cultivo rotacional

Fuente de variación	G.L.	Valor-P		
		Longitud	Ancho	Espesor
Efectos principales				
A: Bloques	2	0,8240 ^{ns}	0,2071 ^{ns}	0,7413 ^{ns}
B: Tratamientos	3	0,8927 ^{ns}	0,0213*	0,8598 ^{ns}
Residuos	6			
Total (corregido)	11			

* = Significativo

ns = No significativo

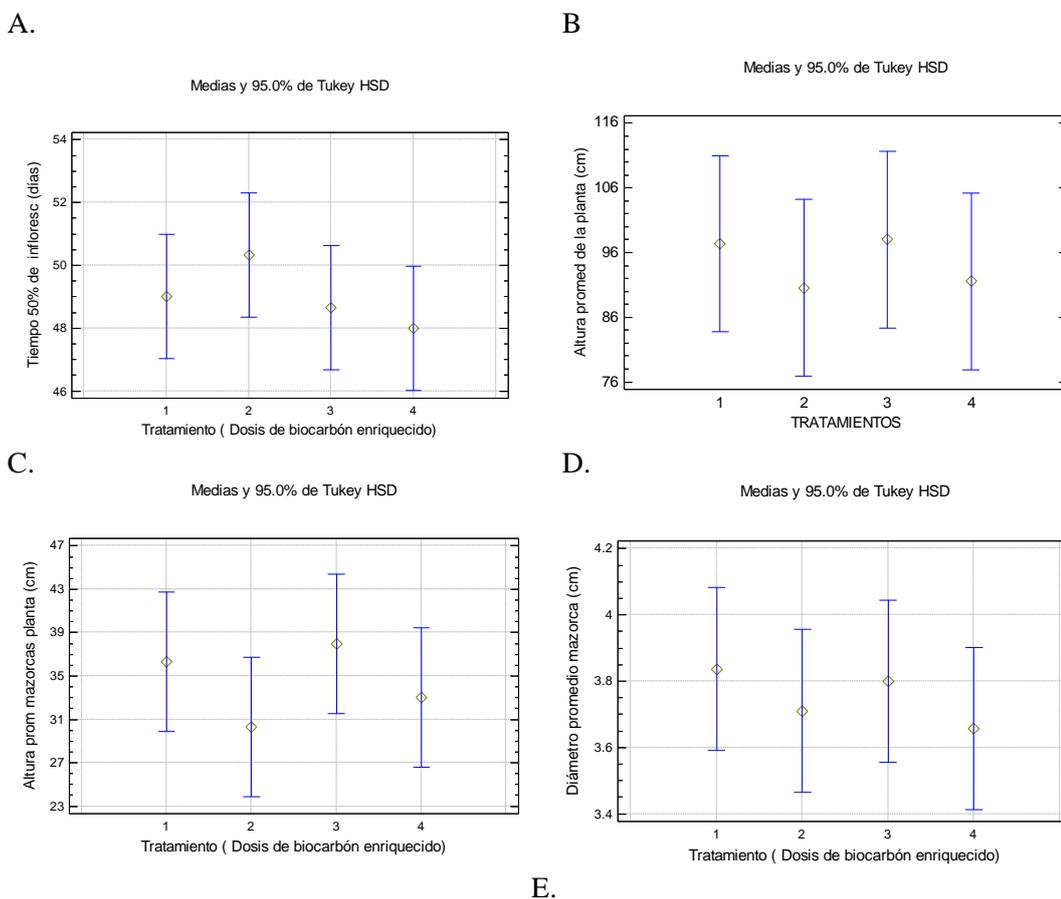
G.L. = Grados de libertad

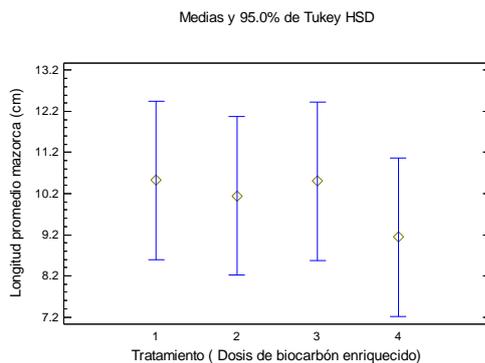
Los datos de la Tabla 30, que corresponden al análisis de varianza, de las características biométricas de los granos de maíz, indican que no existió niveles estadísticamente significativos a un $P < 0,05$, con un 95% de nivel de confianza, es decir, los tratamientos con diferentes dosis de biocarbón enriquecido en biol de vacaza, aplicados a los suelos de los terrenos, no han tenido una influencia directa en las características biométricas de los granos de maíz, como cultivo único.

Análisis de medias de las características fisiológicas del maíz como cultivo único rotacional

El análisis a nivel de medias, del tiempo en que alcanza el 50% de la floración, altura promedio de la planta, altura promedio a la mazorca en la planta, diámetro promedio de la mazorca, y, longitud promedio de mazorca, del maíz como cultivo único rotacional, producido en los suelos que recibieron la enmienda agrícola, se muestran en la Figura 2.

Figura 2
Efecto del biocarbón enriquecido en la fisiología del maíz como cultivo único





El análisis de las medias de los tratamientos, nos muestra en la Figura 2A, que el T₂ (5 t ha⁻¹), ha tenido un mejor comportamiento en el tiempo de alcanzar el 50% de florescencia del cultivo. La Figura 2B, también muestra, que el T₃ (10 t ha⁻¹), ha influido en la altura de la planta de maíz. En la Figura 2C, el tratamiento T₃ (10 t ha⁻¹), es que destaca entre los demás, en menor altura promedio de la mazorca en la planta. En lo que respecta al diámetro promedio de la mazorca, la parcela que no recibió la enmienda (Figura 2D), muestra mayor incidencia, pasando a considerar a T₃ (10 t ha⁻¹), como la que promovió el mayor diámetro de mazorca. Del mismo modo, el T₃ (10 t ha⁻¹), según la Figura 2E, es el que motivó longitudes mayores de mazorca en las plantas de maíz, cultivadas como cultivo único.

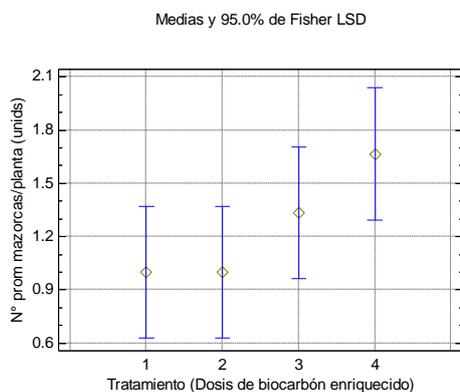
Análisis de medias de las características productivas del maíz como cultivo único rotacional

El análisis a nivel de medias, del número promedio de mazorcas por planta, peso promedio de mazorca, peso promedio de grano por mazorca, peso promedio de 100 granos, y, rendimiento promedio de grano por hectárea, del maíz como cultivo único rotacional, producido en los suelos que recibieron la enmienda agrícola, se muestran en la Figura 3.

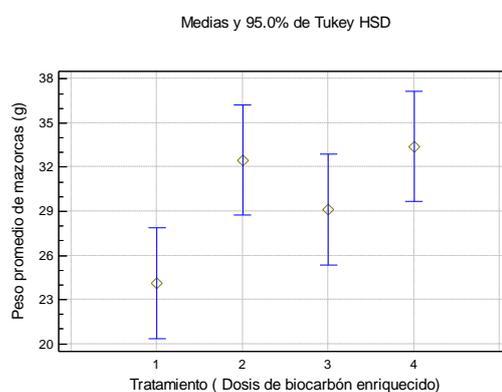
Figura 3

Efecto del biocarbón enriquecido en las características productivas del maíz como cultivo único rotacional

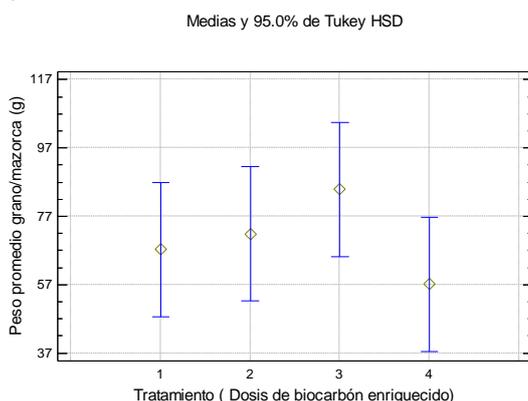
A.



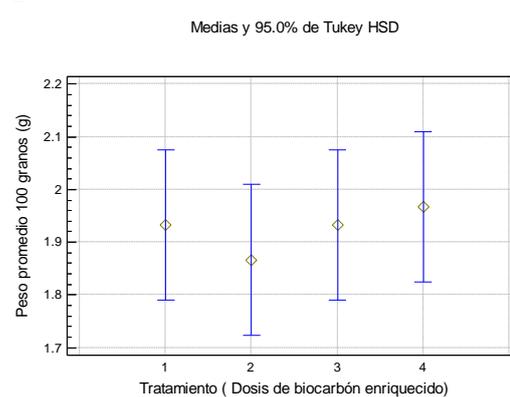
B.



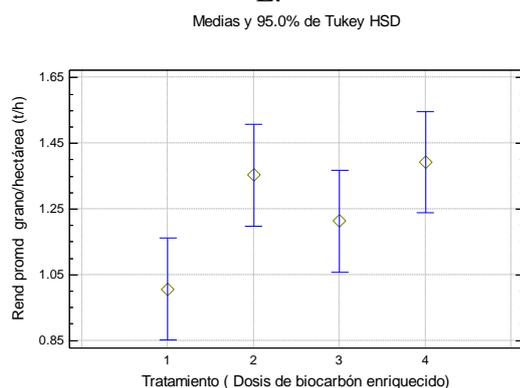
C.



D.



E.



Las medias en las Figuras 3A y 3B, indican que el T₄ (15 t ha⁻¹), han tenido una mejor respuesta en el número y peso promedio de mazorcas por planta, respectivamente. El peso promedio de grano por mazorca, según la Figura 3C, se ha visto influenciado por el T₃ (10 t ha⁻¹). La Figura 3D, indica que, a nivel

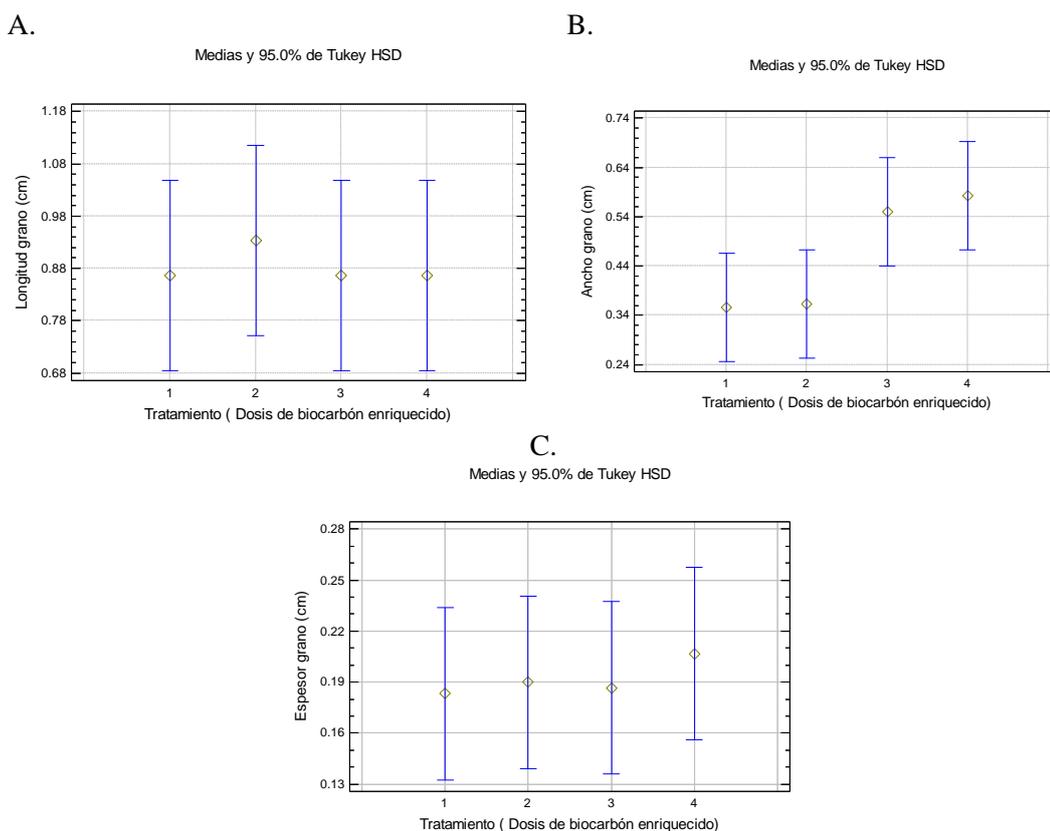
de peso promedio de 100 granos, el T₄ (15 t ha⁻¹), es el que más efecto ha causado en las medias. La Figura 3E, muestra que, el mayor rendimiento de granos de maíz por hectárea, se logró por efecto del T₄ (15 t ha⁻¹).

Análisis de medias de las características biométricas de los granos de maíz como cultivo único rotacional

El análisis a nivel de medias, de la longitud, ancho, y, espesor, de los granos de maíz como cultivo único rotacional, producido en los suelos que recibieron la enmienda agrícola, se muestran en la Figura 4.

Figura 4

Efecto del biocarbón enriquecido en las características biométricas de los granos de maíz como cultivo único rotacional



La Figura 4A, a nivel de medias, nos indica que el T₂ (5 t ha⁻¹), es el que ha propiciado una mayor longitud en los granos de maíz. En cuanto al ancho del grano, mostrado en la Figura 4B, no permite apreciar, que el T₄ (15 t ha⁻¹), es

responsable de propiciar mayores valores del ancho en el grano de maíz. También el T₄ (15 t ha⁻¹), ha sido el tratamiento que permitió obtener un mayor espesor, en los granos de maíz, cultivados en suelos con la enmienda agrícola, como cultivo único.

Análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en la fisiología del frijol caupí como cultivo único rotacional

Los resultados del análisis de varianza de los días de inflorescencia al 50%, altura de la planta, y, longitud de la vaina del frijol caupí, producto de la aplicación del biocarbón enriquecido, como cultivo único, se muestran en la Tabla 31.

Tabla 31

Resumen del análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en la fisiología del frijol caupí como cultivo único rotacional

Fuente de variación	G.L.	Valor-P		
		50% de florescencia	Altura planta	Longitud vaina
Efectos principales				
A: Bloques	2	0,4219 ^{ns}	0,2108 ^{ns}	0,2431 ^{ns}
B: Tratamientos	3	0,2325 ^{ns}	0,0590 ^{ns}	0,6858 ^{ns}
Residuos	6			
Total (corregido)	11			

ns = No significativo G.L. = Grados de libertad

El análisis de varianza de la Tabla 31, no muestra efectos estadísticamente significativos a un $P < 0,05$, con un 95,0% de nivel de confianza, en lo que respecta al tiempo en alcanzar el 50% de floración, tampoco en la altura de la planta, y, ninguno en la longitud de la vaina, del frijol caupí, cultivado en los suelos intervenidos con biocarbón enriquecido en biol de vacaza.

Análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en la producción del frijol caupí como cultivo único rotacional

Los resultados del análisis de varianza del número de vainas/planta, peso de la vaina, peso del grano/vaina, peso de 100 granos, y, rendimiento de grano/hectárea, producto de la aplicación del biocarbón enriquecido, como cultivo único, se muestran en la Tabla 32.

Tabla 32

Resumen del análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en la producción del frijol caupí como cultivo único rotacional

Fuente de variación	G.L.	Valor-P				
		Número vainas/planta	Peso vaina	Peso grano/vaina	Peso 100 granos	Rendimiento grano/ha
Efectos principales						
A: Bloques		0,6780 ^{ns}	0,0762 ^{ns}	0,0675 ^{ns}	0,4661 ^{ns}	0,0757 ^{ns}
B: Tratamientos		0,3735 ^{ns}	0,5180 ^{ns}	0,1483 ^{ns}	0,5862 ^{ns}	0,5163 ^{ns}
Residuos						
Total (corregido)						

ns = No significativo

G.L. = Grados de libertad

En la Tabla 32, el análisis de varianza, indica que no ha existido efectos estadísticamente significativos a un $P < 0,05$, con un 95,0% de nivel de confianza, en el número de vainas por planta, peso promedio de vaina, peso promedio de grano por vaina, peso de 100 granos, y, el rendimiento de grano por hectárea, en el frijol caupí, cultivado en suelos con intervención de biocarbón enriquecido en biol bovino.

Análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en las características biométricas del frijol caupí como cultivo único rotacional

Los resultados del análisis de varianza de la longitud, ancho, y, espesor del grano de frijol caupí, producto de la aplicación del biocarbón enriquecido, como cultivo único, se muestran en la Tabla 33.

Tabla 33

Resumen del análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en las características biométricas del frijol caupí como cultivo único

Fuente de variación	G.L.	Valor-P		
		Longitud	Ancho	Espesor
Efectos principales				
A: Bloques	2	0,5737 ^{ns}	0,7012 ^{ns}	0,6217 ^{ns}
B: Tratamientos	3	0,0045*	0,1606 ^{ns}	0,6616 ^{ns}
Residuos	6			
Total (corregido)	11			

* = Significativo

ns = No significativo

G.L. = Grados de libertad

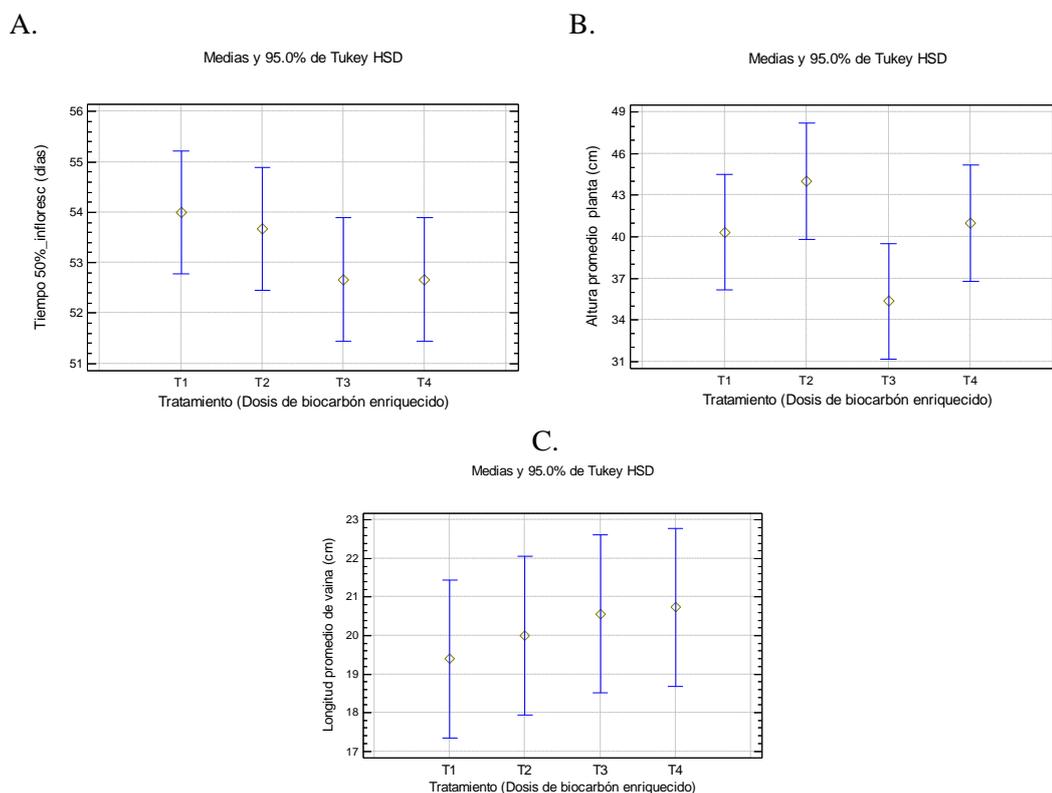
Según la Tabla 33, que muestra el análisis de varianza, en las características biométricas del grano de frijol caupí, cultivado con aplicación de biol enriquecido en biol de vacaza, como longitud, ancho, y espesor, de los granos, no existen efectos estadísticamente significativos a un $P < 0,05$, con un nivel de confianza del 95,5%, es decir, no se han apreciado cambios notorios, en las características analizadas del grano de frijol.

Análisis de medias de las características fisiológicas del frijol caupí como cultivo único rotacional

El análisis a nivel de medias, del tiempo en que alcanza el 50% de floración, altura promedio de planta, y, longitud promedio de vaina, del frijol caupí como cultivo único rotacional, producido en los suelos que recibieron la enmienda agrícola, se muestran en la Figura 5.

Figura 5

Efecto del biocarbón enriquecido en la fisiología del frijol caupí como cultivo único rotacional



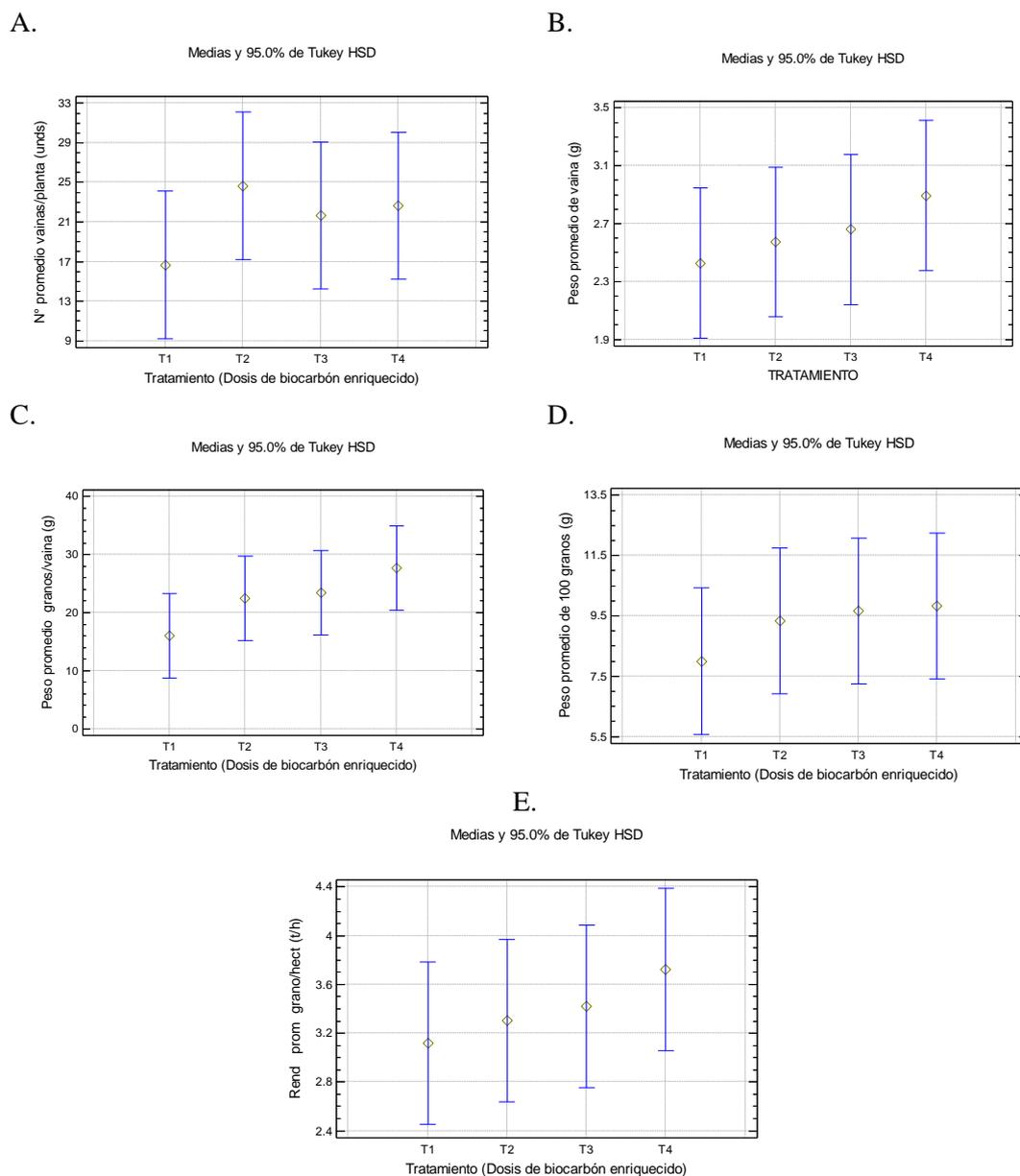
En la Figura 5A, se puede apreciar que, a nivel de medias, el suelo que no recibió biocarbón enriquecido (T_0), es el que muestra un efecto en el tiempo que logró la floración al 50% del frijol caupí, cuyos efectos también, se pueden atribuir al T_2 (5 t ha^{-1}). El T_2 (5 t ha^{-1}), según la Figura 5B, también influyó en la altura de las plantas del frijol. En el mejor promedio de la longitud de las vainas de frijol caupí, influyó el T_4 (15 t ha^{-1}), según la Figura 5C.

Análisis de medias de las características productivas del frijol caupí como cultivo único rotacional

El análisis a nivel de medias, del número de vainas por planta, peso de la vaina, peso del grano por vaina, peso de 100 granos, y, rendimiento de grano por hectárea, del frijol caupí como cultivo único rotacional, producido en los suelos que recibieron la enmienda agrícola, se muestran en la Figura 6.

Figura 6

Efecto del biocarbón enriquecido en las características productivas del frijol caupí como cultivo único rotacional



El análisis a nivel de medias, indica que en la Figura 6A, el T₂ (5 t ha⁻¹), es el que promocionó un mejor número de vaina por planta. La Figura 6B, indica que el T₄ (15 t ha⁻¹), es el que permitió lograr un mejor peso promedio de la vaina de frijol. Por su parte, el T₄ (15 t ha⁻¹), también influyó en el mejor peso promedio de los granos en las vainas, tal como se aprecia en la Figura 6C. Del mismo modo, según la Figura 6D, el T₄ (15 t ha⁻¹), permitió un mayor peso de 100

granos de frijol caupí. La Figura 6E, también, muestra que el T₄ (15 t ha⁻¹), es el tratamiento cuya dosis de biocarbón, promovió, un mayor rendimiento del frijol caupí, producido en los suelos intervenidos con biocarbón enriquecido con biol.

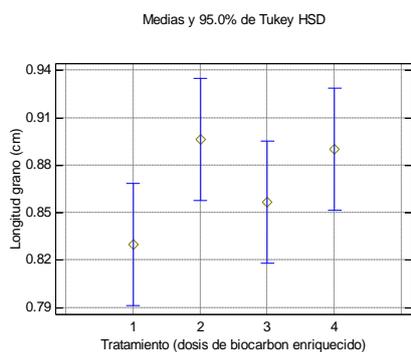
Análisis de medias de las características biométricas de los granos de frijol caupí como cultivo único rotacional

El análisis a nivel de medias, de longitud, ancho, y, espesor, de los granos de frijol caupí como cultivo único rotacional, producido en los suelos que recibieron la enmienda agrícola, se muestra en la Figura 7.

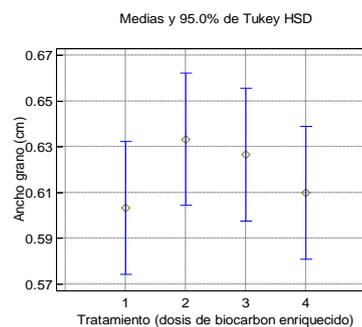
Figura 7

Efecto del biocarbón enriquecido en las características biométricas de los granos de frijol caupí como cultivo único rotacional

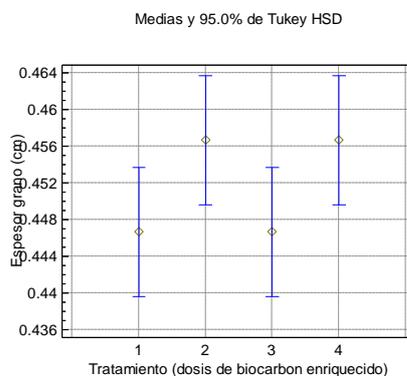
A.



B.



C.



El análisis de las medias, obtenidas en la Figura 7A, indica que el T₃ (10 t ha⁻¹) ha tenido un mejor comportamiento para lograr una mayor longitud del grano de frijol. La Figura 7B, a su vez, nos muestra, que, a nivel del ancho de la semilla del frijol, el T₂ (5 t ha⁻¹), es el que mejor efecto a mostrado. En cuanto al espesor de la semilla de frijol, según la Figura 7C, el T₃ (10 t ha⁻¹), es que mejor efecto ha mostrado.

Análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en la fisiología del maíz como cultivo asociado

El análisis de varianza de los resultados obtenidos en cuanto a los días de florescencia al 50%, altura de la planta, altura de la mazorca en la planta, diámetro de la mazorca, y, longitud de la mazorca del maíz, producto de la aplicación del biocarbón enriquecido, como cultivo asociado, se muestran en la Tabla 34.

Tabla 34

Resumen del análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en la fisiología del maíz como cultivo asociado

Fuente de variación	G.L.	Valor-P				
		50% de florescencia	Altura planta	Altura mazorca en planta	Diámetro mazorca	Longitud mazorca
Efectos principales						
A: Bloques	2	0,6141 ^{ns}	0,5679 ^{ns}	0,9344 ^{ns}	0,1875 ^{ns}	0,6570 ^{ns}
B: Tratamientos	3	0,5825 ^{ns}	0,8121 ^{ns}	0,1316 ^{ns}	0,1795 ^{ns}	0,0488*
Residuos	6					
Total (corregido)	11					

* = Significativo ns = No significativo G.L. = Grados de libertad

La Tabla 34, muestra que los factores tiempo de alcanzar el 50% de floración, altura de la planta, altura de la mazorca en la planta, el diámetro de la mazorca, no fueron influenciados en el cultivo asociado con frijol caupí, por efecto de la aplicación del biocarbón enriquecido, pero, la longitud de la mazorca, si presentó una significancia estadística a un $P < 0,05$, con un 95,0% de nivel de confianza.

Análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en la producción de maíz como cultivo asociado

El análisis de varianza de los resultados obtenidos en cuanto a número de mazorcas por planta, peso de la mazorca, peso del grano por mazorca, peso de 100 granos, y, rendimiento de grano por hectárea, producto de la aplicación del biocarbón enriquecido, del maíz como cultivo asociado, se muestran en la Tabla 35.

Tabla 35

Resumen del análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en la producción de maíz como cultivo asociado

Fuente de variación	G.L.	Valor-P				
		Número mazorcas/planta	Peso mazorca	Peso grano/mazorca	Peso 100 granos	Rendimiento grano/ha
Efectos principales						
A: Bloques	2	0,7703 ^{ns}	0,0732 ^{ns}	0,9330 ^{ns}	0,3775 ^{ns}	0,2263 ^{ns}
B: Tratamientos	3	0,5720 ^{ns}	0,1260 ^{ns}	0,1570 ^{ns}	0,5498 ^{ns}	0,0014*
Residuos	6					
Total (corregido)	11					

* = Significativo

ns = No significativo

G.L. = Grados de libertad

Los resultados del análisis de varianza, mostrados en la Tabla 35, indican que no hubo efecto significativo, de la aplicación del biocarbón enriquecido en el número de mazorcas por planta, peso de las mazorcas, peso de granos por mazorca, y, peso de 100 granos; pero, si efecto estadísticamente significativo, a un $P < 0,05$, con un 95,0% de nivel de confianza, por la aplicación de biocarbón enriquecido, sobre el rendimiento en $t\ ha^{-1}$, de grano de maíz, como cultivo asociado.

Análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en las características biométricas de los granos del maíz como cultivo asociado

Los resultados del análisis de varianza de la longitud, ancho, y, espesor del grano de maíz, producto de la aplicación del biocarbón enriquecido, como cultivo asociado, se muestran en la Tabla 36.

Tabla 36

Resumen del análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en las características biométricas del maíz como cultivo asociado

Fuente de variación	G.L.	Valor-P		
		Longitud	Ancho	Espesor
Efectos principales				
A: Bloques	2	0,05611 ^{ns}	0,5612 ^{ns}	0,3062 ^{ns}
B: Tratamientos	3	0,1477 ^{ns}	0,3330 ^{ns}	0,8606 ^{ns}
Residuos	6			
Total (corregido)	11			

ns = No significativo G.L. = Grados de libertad

Los resultados obtenidos del análisis de varianza, que se muestran en la Tabla 36, de las características biométricas del maíz como cultivo asociado, por efecto de los tratamientos con biocarbón enriquecido, no mostraron significancia estadística a un $P < 0,05$, con un 95,0% de nivel de confianza.

Análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en las características nutricionales de los granos del maíz como cultivo asociado

Los resultados del análisis de varianza de la proteína, y, grasa del grano de maíz, producto de la aplicación del biocarbón enriquecido, como cultivo asociado, se muestran en la Tabla 37.

Tabla 37

Resumen del análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en las características nutricionales del maíz como cultivo asociado

Fuente de variación	G.L.	Valor-P	
		Proteína	Grasa
Efectos principales			
A: Bloques	2	0,8825 ^{ns}	0,4738 ^{ns}
B: Tratamientos	3	0,5577 ^{ns}	0,3250 ^{ns}
Residuos	6		
Total (corregido)	11		

ns = No significativo G.L. = Grados de libertad

Los resultados mostrados en la Tabla 37, con respecto al análisis de varianza, indica que los tratamientos a base de dosis de biocarbón enriquecido en biol bovino, no resultaron estadísticamente significativos a un $P < 0,05$, con un

95,0% de nivel de confianza, en las medias de las proteínas y las grasas de los granos de maíz, cultivado en asociación con el frijol caupí.

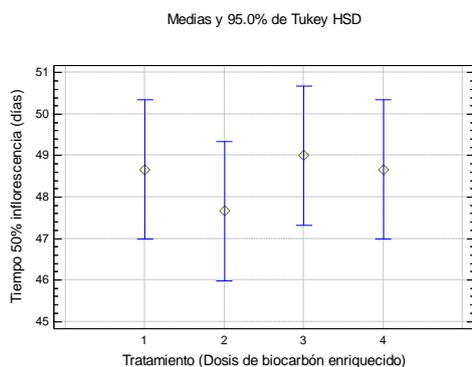
Análisis de medias de las características fisiológicas del maíz como cultivo asociado

El análisis a nivel de medias, del tiempo en que alcanza el 50% de la floración, altura promedio de la planta, altura promedio a la mazorca en la planta, diámetro promedio de la mazorca, y, longitud promedio de mazorca, del maíz como cultivo asociado, producido en los suelos que recibieron la enmienda agrícola, se muestran en la Figura 8.

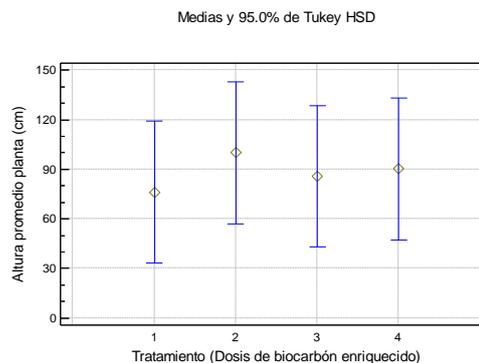
Figura 8

Efecto del biocarbón enriquecido en la fisiología del maíz como cultivo asociado

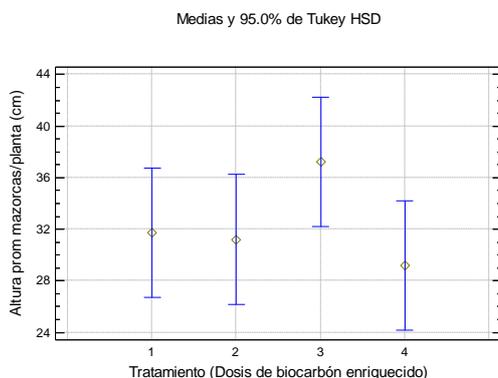
A.



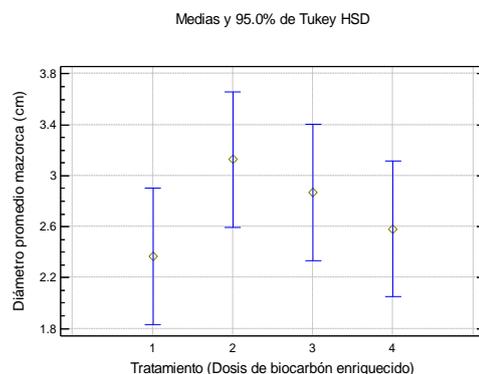
B.



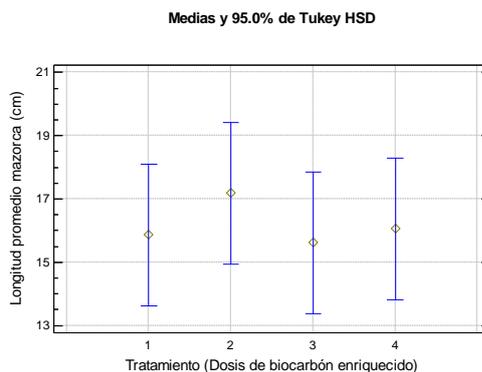
C.



D.



E.



La Figura 8A, muestra a nivel de medias, que los tiempos de floración a un 50%, han recibido la influencia del T₃ (10 t ha⁻¹). También la Figura 8B, indica que el T₂ (5 t ha⁻¹), a nivel de medias, propició una mayor altura de las plantas de maíz. Del mismo modo, la Figura 8C, nos indica, a nivel de medias, que el T₃ (10 t ha⁻¹), ha influido en la altura de las mazorcas en las plantas. La Figura 8D, muestra que, en el mayor diámetro alcanzado por las mazorcas, el T₂ (5 t ha⁻¹), es el que ha tenido una mayor influencia. Por su parte, la Figura 6E, nos indica que el T₂ (5 t ha⁻¹), tuvo una influencia significativa, para obtener una mayor longitud de las mazorcas de maíz, como cultivo asociado con el frijol caupí.

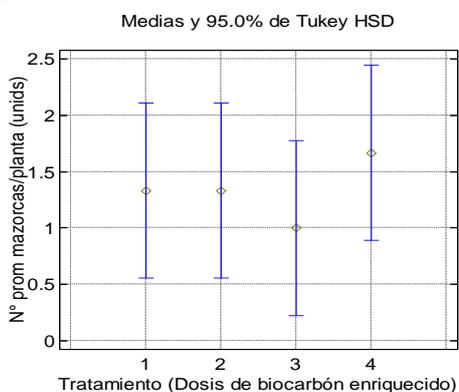
Análisis de medias de las características productivas del maíz como cultivo asociado

El análisis a nivel de medias, del número promedio de mazorcas por planta, peso promedio de mazorcas, peso promedio del grano por mazorca, peso promedio de 100 granos, y, rendimiento promedio de grano por hectárea, del maíz como cultivo asociado, producido en los suelos que recibieron la enmienda agrícola, se muestran en la Figura 9.

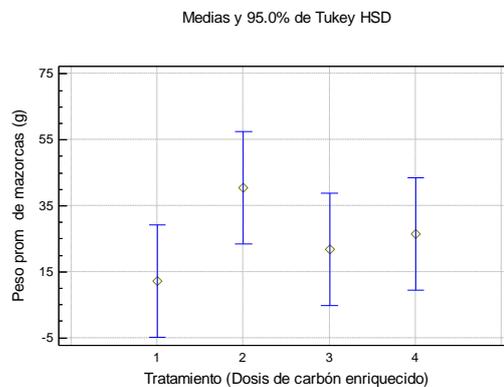
Figura 9

Efecto del biocarbón enriquecido en la producción de maíz como cultivo asociado

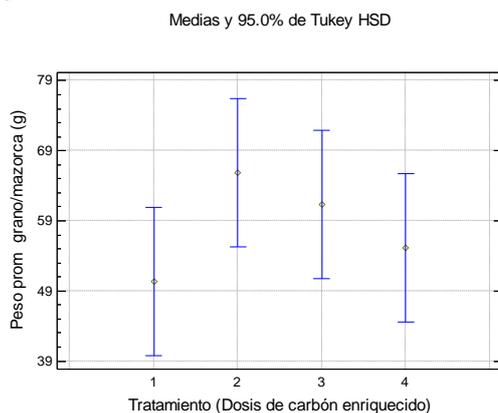
A.



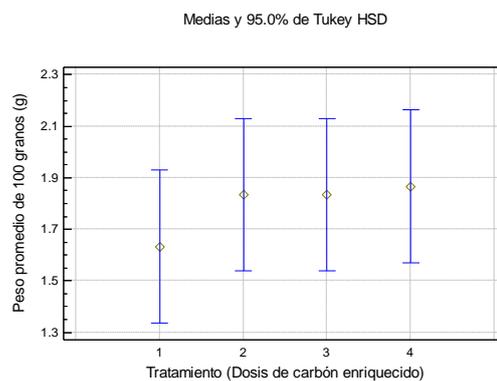
B.



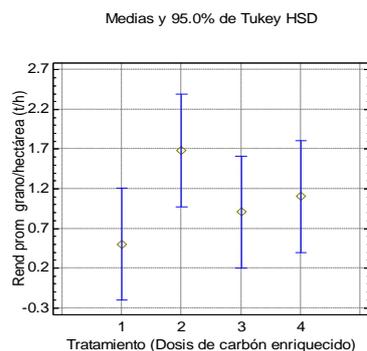
C.



D.



E.



La Figura 9A, indica que, en el valor de las medias, el T₄ (15 t ha⁻¹), ha influenciado en el número de mazorcas por planta. Las Figuras 9B y 9C, muestran que, las medias del mayor peso de mazorcas y granos por mazorca, el T₂ (5 t ha⁻¹), fue el que mostró mejores resultados. También, las Figuras 9D y

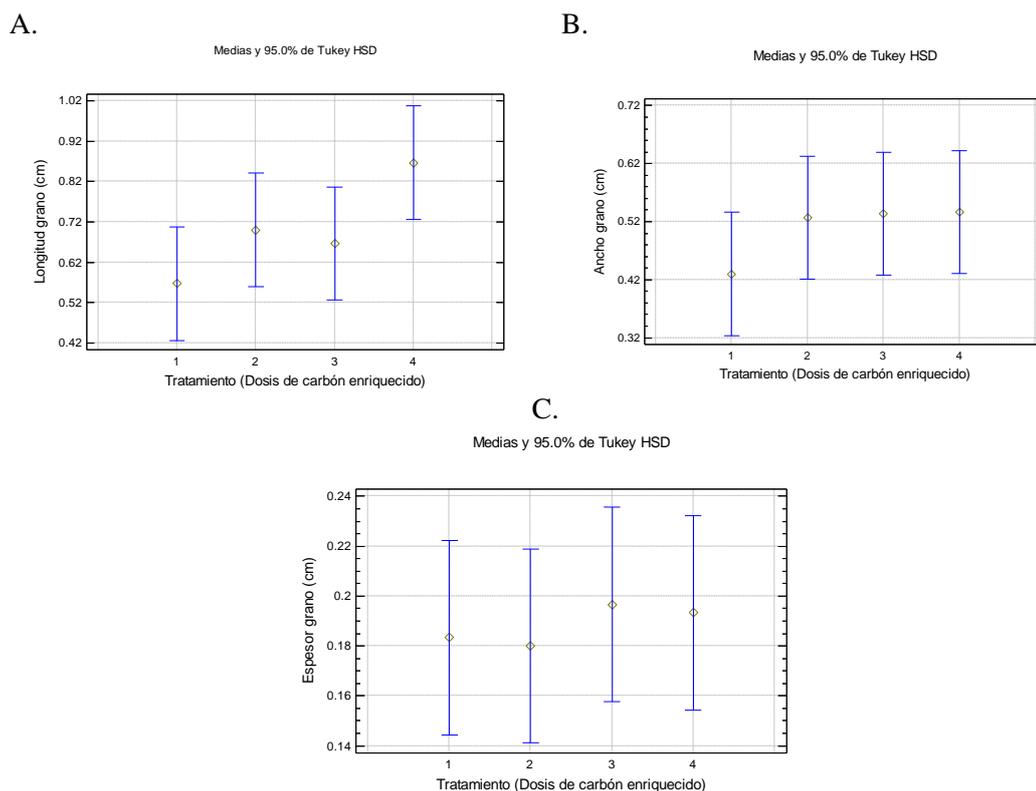
9E, reportan que hubo una mayor influencia del T₄ (15 t ha⁻¹), en el peso de 100 granos, y, en el mayor rendimiento del cultivo de maíz asociado al frijol caupí.

Análisis de medias de las características biométricas de los granos de maíz como cultivo asociado

El análisis a nivel de medias, de la longitud, ancho y, espesor de los granos del maíz como cultivo asociado, producido en los suelos que recibieron la enmienda agrícola, se muestran en la Figura 10.

Figura 10

Efecto del biocarbón enriquecido en las características biométricas de los granos de maíz como cultivo asociado



El análisis de las medias de la Figura 10A, indican que el T₄ (15 t ha⁻¹), ha influido en la mayor longitud de los granos de maíz. Del mismo modo, la Figura 10B, en función de la media, que muestra el T₄ (15 t ha⁻¹), ha incidido levemente por encima de T₃ (10 t ha⁻¹), en el ancho del grano de maíz. También la media

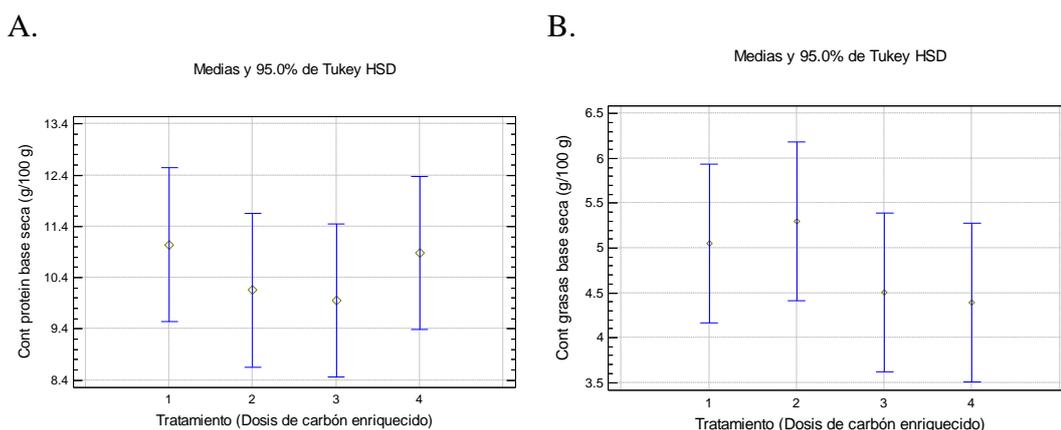
del T₃ (10 t ha⁻¹), mostrada en la Figura 10C, manifiesta ventajas en el espesor del grano de maíz, cultivado en forma asociada con el frijol caupí.

Análisis de medias de las características nutricionales de los granos de maíz como cultivo asociado

El análisis a nivel de medias, de las proteínas, y, las grasas de los granos del maíz como cultivo asociado, producido en los suelos que recibieron la enmienda agrícola, se muestran en la Figura 11.

Figura 11

Efecto del biocarbón enriquecido en las características nutricionales de los granos de maíz como cultivo asociado



La Figura 11A, indica a nivel de medias, que la parcela que no recibió el biocarbón enriquecido (T₀ - 0 t ha⁻¹), presentó mejores resultados, seguido del T₄ (15 t ha⁻¹), en el contenido de proteínas del grano de maíz. Por su parte, la Figura 11B, pone de manifiesto, a nivel de medias, que el T₂ (5 t ha⁻¹), ha influenciado en el contenido de grasas de las semillas de maíz, que fue sembrado como cultivo asociado al frijol caupí.

Análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en la fisiología del frijol caupí como cultivo asociado

El análisis de varianza con los resultados correspondientes a los días de inflorescencia al 50%, altura de la planta, y, longitud de la vaina del frijol caupí,

producto de la aplicación del biocarbón enriquecido, como cultivo asociado, se muestran en la Tabla 38.

Tabla 38

Resumen del análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en la fisiología del frijol caupí como cultivo asociado

Fuente de variación	G.L.	Valor-P		
		50% de inflorescencia	Altura planta	Longitud vaina
Efectos principales				
A: Bloques		0,5696 ^{ns}	0,9118 ^{ns}	0,1483 ^{ns}
B: Tratamientos		0,7707 ^{ns}	0,8534 ^{ns}	0,7959 ^{ns}
Residuos				
Total (corregido)				

ns = No significativo G.L. = Grados de libertad

Los resultados obtenidos del análisis de varianza, mostrados en la Tabla 38, indican la ausencia de significancia estadística a un $P < 0,05$, con un nivel de confianza del 95,0%, es decir los tratamientos, no han influido en el tiempo de floración al 50%, tampoco en la altura de la planta, y, la longitud de la vaina, del frijol caupí.

Análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en la producción del frijol caupí como cultivo asociado

El análisis de varianza con los resultados correspondientes al número de vainas/planta, peso de la vaina, peso del grano/vaina, peso de 100 granos, y, rendimiento de grano/hectárea, producto de la aplicación del biocarbón enriquecido, como cultivo asociado, se muestran en la Tabla 39.

Tabla 39

Resumen del análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en la producción del frijol caupí como cultivo asociado

Fuente de variación	G.L.	Valor-P				
		Número vainas/planta	Peso vaina	Peso grano/vaina	Peso 100 granos	Rendimiento grano/ha
Efectos principales						
A: Bloques	2	0,7354 ^{ns}	0,4169 ^{ns}	0,6933 ^{ns}	0,8424 ^{ns}	0,2117 ^{ns}
B: Tratamientos	3	0,5853 ^{ns}	0,6083 ^{ns}	0,7207 ^{ns}	0,8928 ^{ns}	0,1080 ^{ns}
Residuos	6					
Total (corregido)	11					

ns = No significativo G.L. = Grados de libertad

A nivel de producción de frijol caupí, la Tabla 39, muestra que ninguno de los factores, tiene un efecto estadísticamente significativo a un $P < 0,05$, con un nivel de confianza del 95,0%.

Análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en las características biométricas de los granos del frijol caupí como cultivo asociado

Los resultados del análisis de varianza de la longitud, ancho, y, espesor de los granos de frijol caupí, producto de la aplicación del biocarbón enriquecido, como cultivo único, se muestran en la Tabla 40.

Tabla 40

Resumen del análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en las características biométricas del frijol caupí como cultivo asociado

Fuente de variación	G.L.	Valor-P		
		Longitud	Ancho	Espesor
Efectos principales				
A: Bloques	2	0,5612 ^{ns}	0,8795 ^{ns}	0,9159 ^{ns}
B: Tratamientos	3	0,1477 ^{ns}	0,6186 ^{ns}	0,2141 ^{ns}
Residuos	6			
Total (corregido)	11			

ns = No significativo G.L. = Grados de libertad

El análisis de varianza, mostrado en la Tabla 40, correspondiente a las características biométricas del frijol caupí, cultivado en asociación con el cultivo de maíz, indica que ninguno de los factores tiene un efecto estadísticamente significativo a un $P < 0,05$, con un nivel de confianza del 95,0%.

Análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en las características nutricionales del frijol caupí como cultivo asociado

Los resultados del análisis de varianza de la humedad, proteína, y, grasa del grano de frijol caupí, producto de la aplicación del biocarbón enriquecido, como cultivo asociado, se muestran en la Tabla 41.

Tabla 41

Resumen del análisis de varianza de los efectos del biocarbón enriquecido en las características nutricionales del frijol caupí como cultivo asociado

Fuente de variación	G.L.	Valor-P	
		Proteína	Grasa
Efectos principales			
A: Bloques	2	0,3718 ^{ns}	0,4483 ^{ns}
B: Tratamientos	3	0,6563 ^{ns}	0,2342 ^{ns}
Residuos	6		
Total (corregido)	11		

* = Significativo

ns = No significativo

G.L. = Grados de libertad

El análisis de varianza (Tabla 41), muestra que, los tratamientos a base de biocarbón enriquecido en biol de vacaza, no tuvieron efecto, estadísticamente significativa a $P < 0,05$, con un nivel de confianza al 95,0%, en el contenido de proteínas y grasas del frijol caupí, cultivado en forma asociada al maíz.

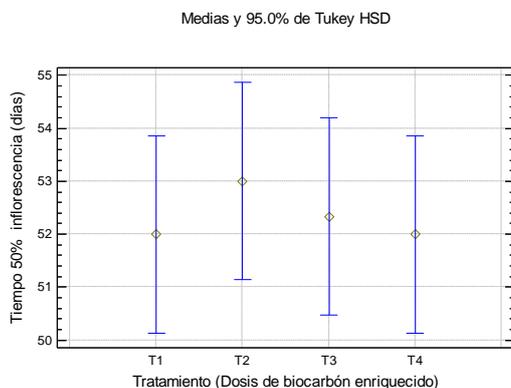
Análisis de medias de las características fisiológicas del frijol caupí como cultivo asociado

El análisis a nivel de medias, del tiempo en que alcanza el 50% de floración, altura promedio de planta, y, longitud promedio de vaina, del frijol caupí como cultivo asociado, producido en los suelos que recibieron la enmienda agrícola, se muestran en la Figura 12.

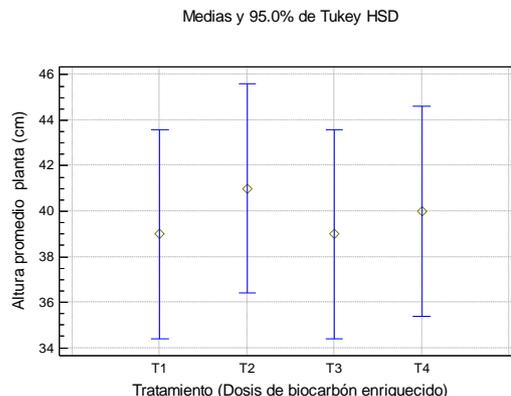
Figura 12

Efecto del biocarbón enriquecido en la fisiología del frijol caupí como cultivo asociado

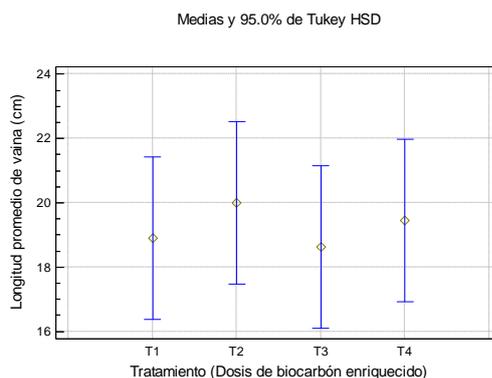
A.



B.



C.



En el cultivo de frijol caupí, a nivel de medias, la Figura 12A, nos muestra, que el T₂ (5 t ha⁻¹), se impone sobre los demás tratamientos, para promover el mayor tiempo de floración, al 50%; también la Figura 12B, nos indica que el T₂ (5 t ha⁻¹), es el tratamiento que ha tenido influencia en la mayor altura de la planta; y, la Figura 12C, nos indica, que también, el T₂ (5 t ha⁻¹), ha promovido, la mayor longitud de la vaina del frijol.

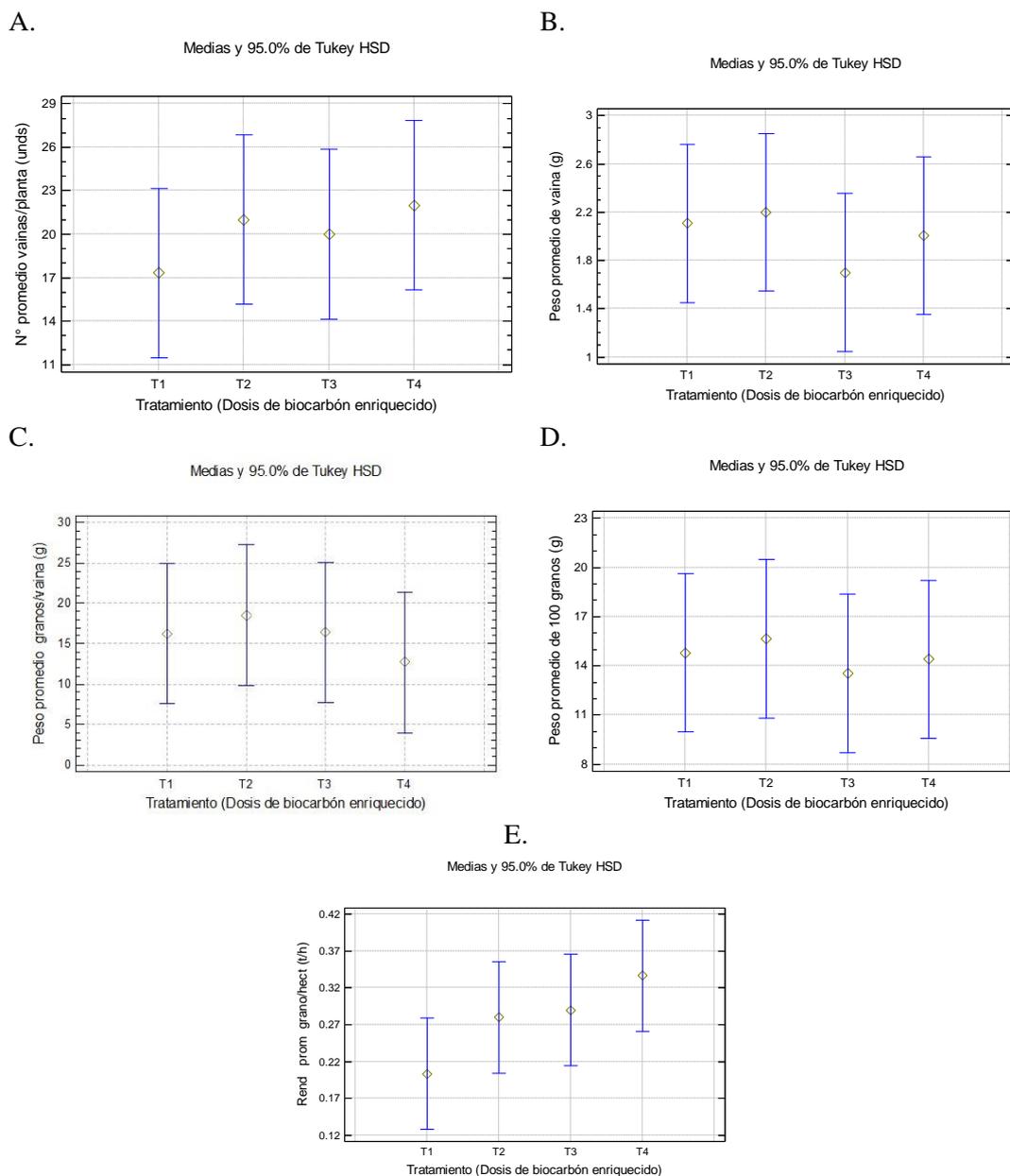
Análisis de medias de las características productivas del frijol caupí como cultivo asociado

El análisis a nivel de medias, del número promedio de vainas por planta, peso promedio de vaina, peso promedio de los granos por vaina, peso promedio de 100 granos, y, rendimiento promedio de granos por hectárea, del frijol caupí

como cultivo asociado, producido en los suelos que recibieron la enmienda agrícola, se muestran en la Figura 13.

Figura13

Efecto del biocarbón enriquecido en las características productivas del frijol caupí como cultivo asociado



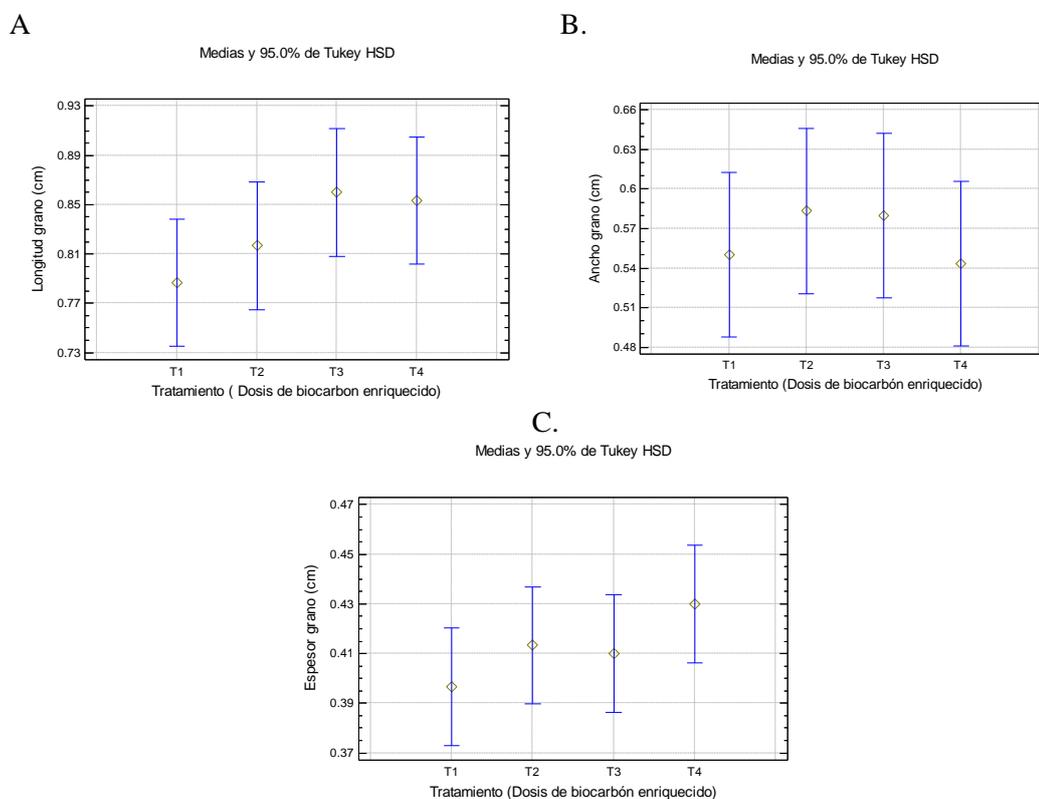
El análisis de las medias, de la Figura 13A, indica que, en el número de vainas por planta, el T₄ (15 t ha⁻¹), es el que ha tenido una mayor influencia. También, en el peso de la vaina (Figura 13B), el mayor peso de los granos en las vainas (Figura 13C), y el mayor peso de 100 granos de frijol (Figura 13D), es el T₂ (5 t ha⁻¹), es el tratamiento que ha propiciado los mayores resultados. Según la Figura 13E, el T₄ (15 t ha⁻¹), ha propiciado un mayor rendimiento de grano por hectárea.

Análisis de medias de las características biométricas de los granos de frijol caupí como cultivo asociado

El análisis a nivel de medias, de la longitud, ancho, y, espesor, de los granos de frijol caupí como cultivo asociado, producido en los suelos que recibieron la enmienda agrícola, se muestran en la Figura 14.

Figura 14

Efecto del biocarbón enriquecido en las características biométricas de los granos de frijol caupí como cultivo asociado



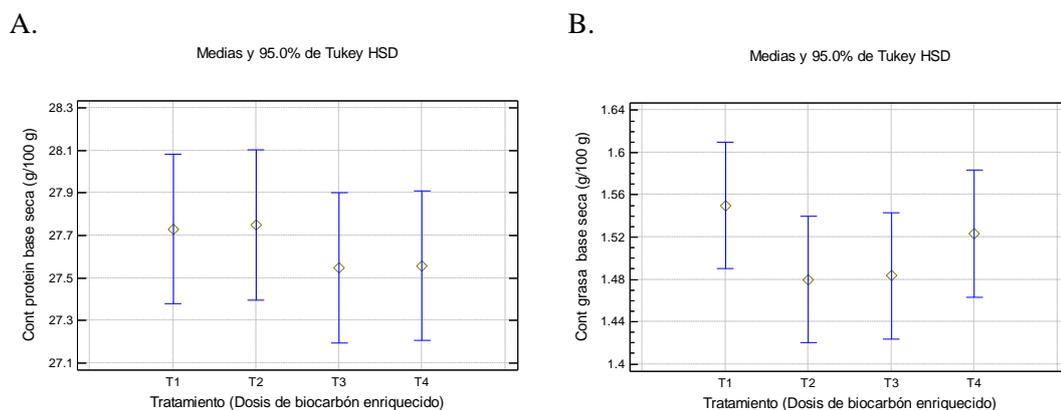
A nivel de medias de los tratamientos, el T₃ (10 t ha⁻¹), ha incrementado el valor de la longitud de las semillas del frijol (Figura 14A), mientras el T₂ (5 t ha⁻¹), ha favorecido el mayor ancho de las mismas (Figura 15B). En la Figura 14C, es el espesor del frijol caupí, que se ha visto favorecido por el T₄ (15 t ha⁻¹).

Análisis de medias de las características nutricionales de los granos de frijol caupí como cultivo asociado

El análisis a nivel de medias, de las proteínas, y, grasas, de los granos de frijol caupí, como cultivo asociado, producido en los suelos que recibieron la enmienda agrícola, se muestran en la Figura 15.

Figura 15

Efecto del biocarbón enriquecido en las características nutricionales del frijol caupí como cultivo asociado



A nivel de medias, según la Figura 15A, el T₂ (5 t ha⁻¹), es el que propició, mayor contenido de proteínas en el frijol caupí.

En cuanto, al mayor contenido de grasas del frijol caupí, de acuerdo, a la Figura 15, se logró con el T₁ (0 t ha⁻¹), pero exceptuándolo, pues no aportó biocarbón enriquecido en biol, a los suelos tratados, es el T₄ (15 t ha⁻¹) pues, es el que mostró un mayor efecto en dicha característica.

5.3. Discusión de los resultados

Fabricación de biocarbón

En cuanto a las temperaturas y tiempo de pirólisis, los valores determinados, coinciden con los indicados por Pariyar *et al.* (2020), que pirolizaron a 350, 450, 550 y 650°C, aserrín de pino, cáscara de arroz, desechos de alimentos y aves y lodos de papel, pero con un menor tiempo (40 minutos), y según Hassan *et al.* (2020), las temperaturas óptimas de pirólisis están en el rango de 200 a 800°C, para otorgar propiedades deseables a los biocarbones, y, según los tipos de materias primas utilizadas. Al respecto, Pariyar *et al.* (2020), indican que el biocarbón pirolizado entre 550 y 650°C, es adecuado para el secuestro de carbono y fines agrícolas.

Analizando el rendimiento y tamaño de partícula, obtenidos, está inferior al 60% indicado por Wijtkosum (2022), en biocarbón de mazorca de maíz y rizoma de yuca, pero muy similar al 45% para biocarbón de cáscara de arroz, todos pirolizados entre 450 y 500°C, y su tamaño de partícula debe ser menor a 3 mm para ser considerado apto para fines agrícolas, por lo cual el biocarbón utilizado, cumple con este requisito, y cuyas propiedades aprovechadas en agricultura, son el área de superficie específica, volumen total de poros, diámetro promedio de los poros, pH, conductividad eléctrica (EC) y capacidad de intercambio catiónico (CEC), mientras sus propiedades para beneficios ambientales se concentran en elementos como: carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N), oxígeno (O), y la relación molar de H/C, O/C y C/N.

Elaboración de biol

La formulación del biol, comprendió el uso de la mayoría de insumos, considerados como residuos y de fácil acceso (estiércol, suero de queso, cenizas y agua) y que se generan en las actividades agroindustriales de la región, en base a la función que desempeñaron en la elaboración, pues el estiércol, fue la fuente del consorcio microbiano (Qi *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2020a) encargado de la degradación y síntesis de los insumos; el agua, como el medio líquido para

facilitar la disolución de los elementos nutricionales y facilitar el desplazamiento de los microorganismos para contactarse con las sustancias y moléculas nutritivas; el suero de queso, por sus aportes en proteínas, aminoácidos, hidratos de carbono, vitaminas y minerales (Miranda *et al.*, 2021; Giroux *et al.*, 2018), muy necesarios para promover el desarrollo microbiológico; el jugo de caña, como proveedor de hidratos de carbono como fuente de energía para la biomasa microbiana; las cenizas, aportaron minerales, principalmente potasio, fósforo, calcio, magnesio, así como carbonatos, fosfatos, óxidos e hidróxidos de sodio, calcio (Albuquerque *et al.*, 2021; Lanzerstorfer, 2015; Zhai *et al.*, 2021); y, las levaduras, encargadas de degradar específicamente los azúcares presentes en el jugo de caña a través de la fermentación anaeróbica por 84 días, para generar otros elementos como los ácidos carboxílicos de 2 a 6 átomos de carbono: Cítrico, láctico, benzoico, tartárico, butírico, propiónico y otros (Agler *et al.*, 2011; Climent *et al.*, 2014; Hoheneder *et al.*, 2021), usados por las bacterias acidolácticas para transformar otros insumos que aporten nutrientes al biol y convertirlo en fertilizante.

La formulación empleada, es similar a la usada por Cevallos (2020), que empleó estiércol vacuno, pero agregó lecha de vaca, superfosfato triple y melaza, con la finalidad de aportar calcio, fósforo y elementos energéticos. Guevara y Alarcón (2019), usaron también estiércol vacuno, pero incluyeron cáscara de huevo, leche, rocoto, cebolla roja, sábila, ajo, azúcar rubia y chicha de jora. Por su parte Montoro *et al.* (2019), formularon un biol con estiércol vacuno y camote.

Caracterización física y química del biocarbón

Las características físico y químicas mostradas por el biocarbón, dependen directamente de la composición estructural de los cuescos, pues entre los elementos principales que contiene según Garcia-Nunez *et al.* (2016), está el carbono (50%), nitrógeno (0,4%), fósforo (0,012%), potasio (0,15%), los cuales son nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas. En el caso de Mg, K y Ca, estos elementos provienen de la lignina y la celulosa, que se generan en el proceso de pirólisis (Kane *et al.*, 2021).

En cuanto a las características que presentó el biocarbón, la humedad determinada es superior a 2,26% (Lee *et al.*, 2017), 2,91% (Wang *et al.*, 2018) y 5,35% (Torres & Zamudio, 2018), como consecuencia de la alta humedad por su naturaleza higroscópica, pero se mostró inferior al 20% reportado por Gonzaga *et al.* (2021).

El pH, que muestra un valor ligeramente alcalino, propio de biocarbones fabricados de materiales lignocelulósicos diferentes de la madera, tal como lo indica Ronsse *et al.* (2013), que fabricó biocarbones con pirólisis a 450°C de cañas, basura orgánica y algas secas, cuyos valores de pH fueron 10,1, 10 y 9,3 respectivamente, mientras el biocarbón de madera mostró 6,7, explicando que las altas temperaturas y pirólisis prolongadas, tienen mucha influencia para lograr pH alcalinos por la reducción de la cantidad de grupos carboxilo y/o los grupos ácidos que sufren la cesión de cationes hidrógenos a las bases conjugadas, resultando en un pH más alcalino del biocarbón, y que también la alcalinidad está influenciada por su contenido de cenizas.

El rendimiento de biocarbón, coincide con 43,28%, pero resultó menor de 60,78% y ligeramente mayor a 40,61, determinado por Uroić Štefanko y Leszczynska (2020), que pirolizaron a 400°C por 2 h, rastrojo de maíz, semillas de pino y mantillo de ciprés, respectivamente, e indican que hay un vínculo entre el tiempo/temperatura de pirólisis y la naturaleza de la materia prima del cual fue fabricado.

La CE del biocarbón resultó superior a 0,1 dSm⁻¹ e inferior a 100 dSm⁻¹ para pino blanco y del mismo modo superior a 0,1 dSm⁻¹ e inferior a 35 dSm⁻¹ para arce azucarero, pues Gabhi *et al.* (2020), obtuvieron biocarbón a 600, 800 y 1000°C, e indican que se debió a que en la carbonización se genera una matriz de carbono amorfa incrustada con nanocristalitos gráficos producto de la temperatura de pirólisis, con mucha influencia en la conductividad eléctrica, producto de un salto de electrones como el mecanismo probable para la conducción eléctrica en el biocarbón. Del mismo modo Giorelli *et al.* (2019),

obtuvieron biocarbones a 650, 700 y 750°C a partir de *Micanthus*, logrando la mayor conductividad eléctrica en los biocarbones pirolizados a 750°C de 0,275 dSm⁻¹ que resultó inferior al determinado en la presente investigación.

Por su parte la MO mostrada por el biocarbón, resultó muy inferior al 70% y 86,94% determinados por Velázquez-Maldonado *et al.* (2019), para biocarbón de cascarilla de arroz catalizado con ácido cítrico al 10% y Orozco *et al.* (2021), para biocarbón de bambú (*Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C. Wendl.) respectivamente; pero similar a 6,99% indicado por Cabello-Torres *et al.* (2021), en biocarbón de excretas porcinas; y, superior a 0,33% obtenido por Sánchez *et al.* (2021), en biocarbón de una mezcla de 55% de lodo orgánico y 45% de cascarilla de arroz; explicando Rajapaksha *et al.* (2019), que la composición y distribución de las sustancias que contribuyen a la materia orgánica del biocarbón, varían según la materia prima, la activación y la temperatura de pirólisis. La composición de la MO del biocarbón, según Song *et al.* (2020) está formado principalmente por carbono, nitrógeno y fósforo, todos de naturaleza orgánica.

El C, resultó superior a los valores obtenidos por Huang *et al.* (2021), que usaron paja de trigo y paja de maíz pirolizados a diferentes temperaturas, obteniendo 31,27% (300 °C), 44,59% (400 °C) y 49,02% (500 °C) para el trigo, y, 29,51% (300 °C), 34,09% (400 °C) y 49,16% (500 °C) para el maíz, demostrando que el contenido de carbono, se incrementa con la temperatura de pirólisis, y, según Hao *et al.* (2018) atribuyen la presencia del carbono a los diferentes grados de pirólisis de la hemicelulosa (220 °C), celulosa (315–400 °C) y lignina (160–900 °C) de las materias primas.

En relación a los valores obtenidos para los macronutrientes esenciales como el N, P y K, el valor reportado para el N, resultó superior al 0,33% determinado por Velázquez-Maldonado *et al.* (2019), en biocarbón de cascarilla de arroz catalizado con ácido cítrico al 10%, también a 0,2% manifestado por Sánchez *et al.* (2021), en biocarbón de una mezcla de 55% más 45% de lodo orgánico y

cascarilla de arroz respectivamente; y muy similar a 0,6% reportado por Pérez-González *et al.* (2021), en biocarbón de bagazo de caña de azúcar. La presencia de N, está en función del contenido de estructuras que contienen N de la materia prima, como aminoazúcares, aminoácidos y aminas, que forman parte del nitrógeno, y que por pirólisis a 500°C, se transforman probablemente por condensación en estructuras aromáticas heterocíclicas de N (Cao & Harris, 2010).

El valor del P que presentó el biocarbón, fue inferior a 0,85% y 2,85% obtenidos por Orozco *et al.* (2021), que por pirólisis a 550°C elaboraron biocarbón de *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C. Wendl., y, Sánchez *et al.* (2021), para biocarbón de una mezcla de 55% de lodo orgánico y 45% de cascarilla de arroz respectivamente; y, superior a 0,05%, 0,16%, 0,035%, 0,036% y 0,03% para biocarbón de cascarilla de arroz catalizado con 10% de ácido cítrico (Velázquez-Maldonado *et al.*, 2019), biocarbón de bagazo de caña de azúcar (Pérez-González *et al.*, 2021), biocarbones de cáscaras de plátano, maracuyá y naranja (García & Gonzáles, 2018) respectivamente. El fósforo tiene su origen en la materia prima y la temperatura de pirólisis (Puentes-Escobar & Rodríguez, 2021), se halla presente en las cenizas adheridas al biocarbón, y según Mondragón-Sánchez *et al.* (2021), tiene la característica de ser muy soluble y extractable.

Por su parte el K, resultó similar a 0,5% en biocarbón de bagazo de caña de azúcar (Pérez-González *et al.*, 2021); superior a 0,017%, 0,011% y 0,003% para biocarbones de cáscaras de plátano, maracuyá y naranja (García & Gonzáles, 2018) respectivamente; también a 0,12% para biocarbón de cascarilla de arroz activado con ácido cítrico al 10% (Velázquez-Maldonado *et al.*, 2019) y 0,36% en biocarbón de bambú (Sánchez *et al.*, 2021). El contenido de K, está en función del tipo de materia prima y las condiciones en las cuales se realizó la pirólisis (Chan & Xu, 2009); y, se encuentra presente en los restos de cenizas adheridos a las porosidades del biocarbón, y que juntamente con el P, se encuentra en

mayor proporción en biocarbones obtenidos de excretas animales que de residuos lignocelulósicos (Novak *et al.*, 2018).

Caracterización física y química del biocarbón enriquecido

El biocarbón, producto de su inmersión en el biol diluido presentó las características físicas y químicas que se indican en la Tabla 9.

Las características físicas como H, pH y CE del biocarbón se han visto incrementados, así como de los principales elementos y compuestos nutricionales, que le otorgan características de fertilizante (MO, C, N, P y K), pues según Shin *et al.* (2021), indican que por efecto de su activación (física por calor), sufre la modificación de su superficie lo cual lleva a aumentar su capacidad de absorción/adsorción de sustancias químicas de carácter nutricional, provenientes del biol como MO, N, P, K, Ca y Mg (Acosta, 2019), que migran hacia el interior de sus poros y se adhieren en su superficie.

El incremento del contenido de humedad del biocarbón, es consecuencia directa de su inmersión en la solución diluida de biol, lo cual produjo su hidratación, es decir la absorción y adsorción de moléculas de agua, a través de sus puentes de hidrógeno y los sitios activos de la enmienda, conformados por grupos funcionales polares conteniendo H y O (Tan *et al.*, 2015).

El valor del pH disminuyó levemente, pero se mantuvo en la categoría de neutro con una leve manifestación de basicidad, como consecuencia de la adsorción por el biocarbón de compuestos carbonilo e hidroxilo cargados negativamente que unieron iones H^+ , presentes en el biol (Orozco *et al.*, 2021).

La CE, que sufrió un ligero incremento, se debió, según Kane *et al.* (2021) a la pérdida del contenido de oxígeno, presentes en los grupos funcionales como Na_2SO_4 y Na_2SO_3 , propios del biocarbón, que interactuaron con los compuestos presentes en el biol.

En cuanto a MO, estudios desarrollados en lugares donde se han intervenido con biocarbón, han demostrado que puede absorber materia orgánica natural (Liang *et al.*, 2006), la denominada materia orgánica disuelta (DOM), que es la fracción más móvil y biodisponible de materia orgánica (presente en el biol), que por sorción pasa al biocarbón, de modo parecido a las superficies minerales, cuyo grado depende de la fuerza iónica y el pH de la solución (biol) (Kaiser y Guggenberger, 2000), parámetros que afectan tanto la solubilidad de DOM (de Wit *et al.*, 2001) y la disponibilidad de los sitios de sorción (Kennedy y Billett, 1996).

Asimismo, los fenómenos de adsorción/absorción, han promovido el aumento del contenido de N (Shin *et al.*, 2021) elemental, pero se han sumado también los presentes en el NH_4^+ y N_2O (Mandal *et al.*, 2016; Cayuela *et al.*, 2014), los cuales incrementaron el contenido de N en el biocarbón, cuyo valor fue inferior a 4,93% obtenido por Hu *et al.* (2019), que impregnaron biocarbón de paja y cáscara de trigo con soluciones equimolares de fosfato trisódico (Na_3PO_4), cloruro de magnesio hexahidratado ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) y cloruro de amonio (NH_4Cl) por 24 h.

Con respecto al contenido de P del biocarbón, resultó inferior a 2,2% y 5,6% obtenidos por Sepúlveda-Cadavid *et al.* (2021), que impregnaron biocarbón de rastrojos de maíz por 48 h, y, An *et al.* (2020) que impregnaron biocarbón de rastrojos de algodón por 24 h, ambos en solución de fosfato monopotásico (KH_2PO_4). Su presencia se debe a la composición de la materia prima, como fitatos y fosfolípidos, los cuales, por pirólisis, se transforman en fosfatos (Cao *et al.*, 2021); pero también, Sun *et al.* (2018), manifiestan que los residuos de cultivos, tienen en su composición una amplia variedad de metales, cuya transformación en biocarbón por pirólisis, genera una mezcla de consorcios del metal-P, tal como el FePO_4 , AlPO_4 y CaPO_4 , pero el incremento de P en el biocarbón, también está en función de su alta capacidad de absorción/adsorción (Shin *et al.*, 2021) del elemento y compuestos fosforados, presentes en el biol (Acosta, 2019).

El análisis del contenido de K del biocarbón enriquecido, nos indica que resultó superior a 0,57% en promedio, obtenido por Kim *et al.* (2014), en biocarbón de paja varilla mezclado con lignina, rociado con una solución fertilizante de N:P₂O₅:K₂O (12:4:8), peletizado a 172 MPa y 65 a 85°C, luego procesados a 105 y 180°C por 24 h. El K ha sufrido un ligero incremento en la enmienda, producto de la adsorción/absorción de los elementos potásicos presentes en el biol, que gracias a la porosidad del biocarbón, terminaron impregnados en su superficie e interior.

De modo concluyente, el enriquecimiento, es decir la adsorción y absorción de nutrientes del biol por el biocarbón, contribuyen a incrementar su eficiencia como fertilizante (Samoraj *et al.*, 2022), en razón de su mayor superficie y capacidad de retención de nutrientes (Sani *et al.*, 2020), según Luo *et al.* (2021) a través de mecanismos de adsorción específicos, de intercambio iónico, interacción hidrofóbica, enlaces de hidrógeno, interacción electrónica y adsorción física.

Caracterización físico química de los suelos

La caracterización del suelo, indicó una clase textural de Franco, y sus valores mostrados en las características físicas y químicas, nos indican que se trata de un suelo en proceso de degradación, pues su D, se encontró entre 1,4 a 1,6 g/cm³, que, según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, (USDA, 1999), indica que se trata de un suelo de compactación leve.

El valor del pH, según la USDA (1993), lo clasifica fuertemente ácido (pH<5,5). Los valores obtenidos de la MO, clasifican al suelo como bajo (0,5≤MO<1,5) y medio (1,5≤MO<3,5), según la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2012).

Los valores del C, también lo catalogan como un suelo de bajo contenido del elemento (1,2 – 2,9%) (Fassbender y Bornemisza, 1987).

El N, resultó muy inferior a 0,16% determinado por Salcedo *et al.* (2022), y, según la USDA (1999), el nivel es muy bajo, en razón del bajo contenido de MO, pues es proporcionado por ella (Yao *et al.*, 2021), además por ser soluble en agua, está sujeto a los procesos de lixiviación (Forero *et al.*, 2022), por efecto de las lluvias y la erosión eólica, además a su propia dinámica y a su característico proceso biogeoquímico (Fernández, 2006).

El contenido de P que presentó el suelo, según el USDA (1993), fue de bajo (5,1 – 15 ppm), e inferior a 5 y 15 ppm, determinado por Bonzano (2021), el cual corresponde a suelos del trópico, que por lo general presentan características de pH ácido y poca disponibilidad de cationes P (Rojas, 2015).

Los valores del K, resultaron superiores a 54,1 ppm (Grández, 2022), pero inferior a 92,4 ppm (Estrada, 2021), y según USDA (1993), resulta muy bajo, siendo la característica de suelos ácidos del trópico, que presentan generalmente valores de pH bajos, y, por tanto, baja disponibilidad de cationes K (Rojas, 2015). El Ca^{2+} , mostró valores bajos, lo cual se presenta en suelos con pH menores o igual a 5, donde el Ca es deficiente como cation (Fassbender y Bornemisza, 1987; Rojas, 2015), resultando inferior a 2,93 meq/100 g (Estrada, 2021), pero superior a 0,67 meq/100 g (Grández, 2022).

Los valores mostrados por el Mg, son inferiores a 2,00 meq/100 g, determinado en un suelo con cobertura de pasto para ganadería por Estrada (2021), y, superior a 0,83 meq/100 g, indicado por Chavez y Herrera (2022), para un suelo degradado; sin embargo, los valores obtenidos, son superiores a lo establecido para suelos de áreas tropicales húmedas, con altas temperaturas, bastantes lluvias y meteorización (Fassbender, 1986), que según Rengifo (2014), resultan a su vez ácidos (pH entre 4 y 6), y los valores de Mg disponible son inferiores a 1 meq/100 g de suelo.

Los valores de la CICE, resultaron levemente superiores en el límite inferior, establecido para el tipo de suelo de áreas tropicales húmedas, pues según Rengifo (2014), oscilan entre 5 y 40 meq/100 g de suelo; y, que se relaciona directamente con los cationes Mg, K, Ca, responsables de promover el desarrollo de las plantas (Estrada, 2021).

Aplicación de biocarbón enriquecido a los suelos

La aplicación de enmiendas agrícolas, es una práctica que, hoy en día, se está volviendo más común, pues, Raza *et al.* (2022), afirman que su gestión adecuada puede ayudar a reducir los desechos contaminantes, basados en su aprovechamiento, utilizando los desechos agrícolas, estiércol y biocarbón para enmiendas orgánicas. También Rodríguez-Berbel *et al.* (2022), afirman que, la aplicación de enmiendas orgánicas, para recobrar las cualidades físicas, químicas y biológicas del suelo degradado, puede permitir su recuperación, pues, orientan a cambios en sus propiedades, que, favorecen la cobertura vegetal, al promover el crecimiento de comunidades fúngicas del suelo, beneficiosas para el ciclo del carbono y simbiótica con las plantas.

Según Samoraj *et al.* (2022), el biocarbón, agregado al suelo, tiene muchas ventajas: Mejora su estructura, y, su capacidad de sorción, también su retención de nutrientes, así como, su capacidad de retención de agua, inmoviliza los contaminantes por absorción, reduce las emisiones de gases de efecto invernadero, del mismo modo, las pérdidas por lixiviación de sus nutrientes, mientras estimula el crecimiento de las plantas.

Caracterización físico química de los suelos intervenidos con la enmienda de biocarbón enriquecido

La aplicación de biocarbón enriquecido en biol, o acompañado de fertilizantes, a los suelos, tiene a largo plazo (tres años), el efecto, de disminuir su densidad aparente, e incrementar su porosidad (Wang *et al.*, 2022; Phares y Akaba, 2022).

Tal como lo demostraron Lu *et al.*, 2022, que cultivaron arroz en suelos ácidos, usando biocarbón de residuos de girasol, de paja de maní, y, paja de maíz, cuyos resultados, mostraron que la incorporación de la enmienda carbonosa, condujo a aumentos en el pH de los suelos; del mismo modo Wang *et al.* (2022), agregaron tasas de 0, 10, 50 y 100 t ha⁻¹ en 2018, 0, 10, 25, 50 y 100 t ha⁻¹ en 2019 y 0, 10, 25 y 30 t ha⁻¹ en 2020, en cultivos de algodón y remolacha azucarera, concluyendo que, el pH del suelo se hizo menos ácido, con el aumento de la cantidad de aplicación de biocarbón. Por su parte, El-Naggar *et al.* (2018b), incrementaron el pH de suelos arenosos con biocarbón de paja de arroz en dosis de 30 t ha⁻¹, en 4,5 unidades, valor superior al logrado en la presente investigación. Un experimento de Zhang *et al.* (2022), de cuatro años, aplicando biocarbón a un suelo ácido, lograron un incremento en el pH de 1 unidad, resultado levemente inferior, al pH obtenido del suelo tratado, con biocarbón enriquecido con biol bovino, de la presente investigación.

Según Cen *et al.* (2021), la aplicación de biocarbón de paja, en dosis de 10, 20, 30 y 50 t ha⁻¹, usando maíz, como cultivo indicador, para demostrar los cambios en la materia orgánica del suelo, logrando en su capa superficial, cuando aplicaron biocarbón en dosis de 50 t ha⁻¹, un aumento entre 0,215% y 0,588%, valores parecidos a los obtenidos en la investigación. Del mismo modo, Phares y Akaba (2022), mejoraron el contenido de MO de suelos tratados con biocarbón+compost, logrando su incremento, tras un período de estudio de tres años, en el cultivo de arroz. Una investigación realizada por Zhang *et al.* (2022), de cuatro años, aplicando biocarbón a un suelo ácido, lograron un incremento en la MO de 120,77%, muy superior al porcentaje de MO, obtenida del suelo tratado con la enmienda agrícola, de la presente investigación.

Tal como lo menciona El-Naggar *et al.* (2018a), que aplicaron a los suelos, una mezcla de biocarbón comercial+paja de trigo (*Triticum aestivum*)+cáscara de maní (*Arachis hypogaea*), y, luego de dos años, evaluaron el contenido de C, que se incrementó en un 5-56%, en razón del tamaño de las partículas del suelo, y, también de las interacciones entre el suelo y el biocarbón, atribuidas a los grupos funcionales oxidados (O-C=O, C=O, y C-O); también Zhang *et al.* (2020b),

agregaron biocarbón de paja de trigo (*Triticum aestivum*), pirolizado a 400°C, en dosis de 20 y 40 t ha⁻¹, en un experimento de campo de rotación de arroz y trigo, durante seis años, luego del cual analizaron el suelo, y, determinaron el carbono orgánico del suelo, el cual se incrementó en un 26–53%, valores de rango diferentes al de 11–45%, obtenido en la presente investigación. La no significancia en el contenido de C, de los suelos intervenidos con el biocarbón enriquecido con biol bovino, podría atribuirse, según Mensah y Frimpong (2018), a que, la aplicación combinada de biocarbón con abonos orgánicos, reduce la descomposición y mineralización de las materias orgánicas, haciendo lenta la liberación de los nutrientes al entorno del suelo, por lo cual, el efecto fertilizante del biocarbón enriquecido en biol, se notará a lo largo del tiempo, pero resulta beneficioso para las plantas, pues este proceso, llevará a una disminución de la lixiviación de nutrientes, los cuales estarán disponibles para su asimilación por las plantas.

Otras investigaciones, han demostrado que el nivel de N, se incrementa por aplicación del biocarbón, tal como lo menciona Zhang *et al.* (2021), que usaron biocarbón de vinaza, en dosis de 0, 0,5, 1,0, 2,0, y, 4,0%, obteniendo como resultado, que las dosis de 2,0 y 4,0%, son los que incrementaron significativamente, el contenido total de N total del suelo. Los autores Phares y Akaba, 2022), usaron una mezcla de biocarbón de cáscara de coco (*Cocos nucifera* L.), pirolizado en un horno tradicional a 480 °C después de 36 horas, molido y tamizado a 2 mm, y, compost de estiércol de aves y pasto elefante (*Pennisetum purpureum* Schumach), y, luego de 3 años consecutivos, determinaron un incremento en el N total de 0,27%; Zhang *et al.* (2020b), en una investigación de 6 años, rotando cultivos de arroz y trigo, con biocarbón de paja de trigo (*Triticum aestivum*), pirolizado a 400°C, en dosis de 20 y 40 t ha⁻¹, determinaron un incremento del N entre 14–16%, valores muy inferiores a 98%, obtenido en la presente investigación. Los investigadores Panhwar *et al.* (2020), usando biocarbón de cáscara de arroz (*Oryza sativa*)-RHB, pirolizado a 500°C por 60 minutos, agregando piedra caliza de magnesio molida-GML, y, combinado con biofertilizante, con un contenido de 48% de C, tusa de palma

aceitera (70%), suelo de turba (30%), y, una población bacteriana de 1×10^{-8} UFC, fijadoras de N_2 y solubilizadoras de fosfato, usando una dosis de 4 t ha^{-1} de biocarbón+biofertilizantes, reportaron que la enmienda GML más biofertilizantes, permitió incrementar N en 0,2%, que resultó, ligeramente superior al obtenido en la presente investigación.

Los resultados que corresponden al P, coinciden con lo manifestado por Apori *et al.* (2021), pues, investigaron el efecto en el contenido de P de suelos degradados, con aplicación de biocarbón de mazorca de maíz (*Zea mays*), pirolizado en estufa a temperaturas de 400 a 500°C, mezclando estiércol de granja (cerdo y aves de corral), y, también un fertilizante comercial de NPK, determinando que la mezcla de biocarbón y NPK, frente a biocarbón+estiércol, solo estiércol, y, solo NPK, incrementó el P disponible del suelo en 9,92%, y, explicado por el alto contenido de P del fertilizante NPK (Zhai *et al.*, 2015), y, del biol, y, según Arif *et al.* (2017), al aumentar el pH del suelo, por efecto de la adición de biocarbón enriquecido, provocaría su complejación con Al^{+3} , presente en suelos ácidos, incrementando así la disponibilidad de P del suelo, el cual sería de fácil absorción para las plantas; también Zhang *et al.* (2020b), tras 6 años de investigación, rotando cultivos de arroz y trigo, aplicando biocarbón de paja de trigo (*Triticum aestivum*), pirolizado a 400°C, con dosis de 20 y 40 t ha^{-1} , determinaron 6-19% de incremento de P en el suelo, valores inferiores a 33%, del presente estudio. Del mismo modo, Panhwar *et al.* (2020), con biocarbón de cáscara de arroz (*Oryza sativa*)-RHB, pirolizado a 500°C por 60 minutos, agregando piedra caliza de magnesio molida-GML, combinado con biofertilizante, cuya proporción de C fue 48%, tusa de palma aceitera (70%), suelo de turba (30%), y, un cultivo bacteriano de 1×10^{-8} UFC, fijadores de N_2 y solubilizadores de fosfato, en dosis de 4 t ha^{-1} de biocarbón con biofertilizantes, reportaron que la enmienda GML más biofertilizantes, permitió incrementar P en 34,38 ppm, muy superior al obtenido en la presente investigación.

Con respecto, a los resultados del K, al ser un fertilizante, de lento efecto en el suelo, investigadores como Fachini *et al.* (2022), que experimentaron la aplicación a un suelo de arena de sílice, de un biocarbón comercial, enriquecido con KCl (cloruro de potasio), y, sólo KCl, reportaron la reducción de la liberación de K hasta en un 77% en comparación con el fertilizante KCl, manifestando, que el K, es un nutriente, que, en presencia de 10% de humedad, se convierte en un fertilizante de liberación lenta, y, que, además influye el tamaño del biocarbón, siendo los gránulos, frente al polvo, el que mejor se comporta como fertilizante de liberación lenta, investigación que ayuda a comprender, la no significancia de los bloques y tratamientos, en el contenido de K del suelo intervenido con el biocarbón enriquecido en biol de vacaza. Otra investigación que demostró, la característica del K, como fertilizante de acción lenta, es la de Phares *et al.* (2021), que experimentaron en cultivo de maíz (*Zea mays*), la aplicación de biocarbón y fertilizante inorgánico de NPK, en diferentes dosis como 0:0:0 kg N:P:K ha⁻¹, tasa recomendada; 90:60:60 kg N:P:K ha⁻¹, la mitad de la tasa recomendada; 45:30:30 kg N:P:K ha⁻¹, determinaron un efecto de interacción significativo entre la aplicación de biocarbón y fertilizante NPK, el cual podría estar relacionado, con el efecto positivo del biocarbón en el suelo, y, cargas superficiales del biocarbón, que, mejoraron la retención, y, la liberación constante de nutrientes suministrados por fertilizante NPK para uso en maíz, que incrementó el rendimiento del cultivo, recomendando el uso de la tasa media de 45:30:30 kg N:P:K ha⁻¹, que genera menos costos y mayores ganancias a los agricultores.

Con respecto a los resultados del Ca⁺², Feng *et al.* (2022), prepararon biocarbón de paja de arroz (*Oryza sativa*) y sándara (*Eupatorium adenophorum*), mezclados con alginato de calcio (CA-MRB300 y CA-MEB600), y, desarrollaron experimentos de lixiviación en columnas de suelo y macetas bajo diferentes tratamientos, usando soya como cultivo indicador, investigando la retención y liberación lenta del calcio del biocarbón, en los nutrientes, logrando retener el 48,05% de Ca, con la enmienda CA-MRB300, y, con su aplicación de 1,5% en peso, obtuvieron efectos positivos en la producción de soya sin

fertilización. También Panhwar *et al.* (2020), con biocarbón de cáscara de arroz (*Oryza sativa*)-RHB, pirolizado a 500°C por 60 minutos, más piedra caliza de magnesio molida-GML, combinado con un biofertilizante, con 48% de C, conteniendo tusa de palma aceitera (70%), suelo de turba (30%), y, un inóculo bacteriano de 1×10^{-8} UFC, fijadores de N_2 y solubilizadores de fosfato, aplicando una dosis de 4 t ha^{-1} de biocarbón+biofertilizantes, lograron con la enmienda GML más biofertilizantes, un incremento en el Ca^{+2} del suelo de $0,297 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$, valor inferior al logrado en la presente investigación; atribuidos a mecanismos de retención de los nutrientes, que el biocarbón desarrolla, tales como la precipitación superficial, el intercambio iónico y la adsorción física, características que lo definen como un fertilizante de liberación lenta, razón por la cual, el Ca^{+2} resultó no significativo, en los suelos intervenidos, pero que estará disponible, para las plantas, a largo plazo en el tiempo, para promover el crecimiento de las plantas.

Un estudio de Panhwar *et al.* (2020), aplicando biocarbón de cáscara de arroz (*Oryza sativa*)-RHB, pirolizado a 500°C por 60 minutos, más piedra caliza de magnesio molida-GML, combinado con biofertilizante, conteniendo 48% de C, tusa de palma aceitera (70%), suelo de turba (30%), y, una población bacteriana de 1×10^{-8} UFC, fijadoras de N_2 y solubilizadoras de fosfato, en dosis de 4 t ha^{-1} de biocarbón+biofertilizantes, permitieron que la enmienda GML más biofertilizantes, fuese quien, permitió incrementar el Mg en $0,245 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$, mientras en la presente investigación, el contenido de Mg disminuyó.

Al respecto de la CIC, El-Naggar *et al.* (2018b), aplicaron a suelos franco arenosos y arenosos, biocarbones obtenidos de pasto plateado Amur (*Miscanthus sacchariflorus*), paja de arroz (*Oryza sativa*), y, árbol paraguas (*Maesopsis eminii*), dosis de 30 t ha^{-1} , destacando el biocarbón de paja de arroz, que incrementó la CIC en un 13% de los suelos arenosos. Los investigadores Zhang *et al.* (2022), en un estudio de cuatro años, con aplicación de biocarbón a un suelo ácido, lograron aumentar la CIC en un 16,21%, por lo cual, ambos

resultados son superiores a la CIC del suelo de la presente investigación, que disminuyó con la aplicación del biocarbón tratado con biol bovino.

Efectos del biocarbón enriquecido en la fisiología de las plantas de maíz como único cultivo rotacional

Ahmed *et al.* (2021), estudiaron en el cultivo de maíz (*Zea mays*), la influencia de la aplicación de biocarbón, pirolizado a 500°C por 2 horas de retención en una mufla, empleando residuos verdes (GWB), y, mazorca de maíz (CCB), y, incluyendo sus formas acidificadas con H₂SO₄ a 0,5N, codificados como AGWB, y, ACCB, agregando 90 g en cada maceta de 20 kg de capacidad, aplicando además, fertilizante NPK en dosis de 250, 175 y 125 kg ha⁻¹, logrando obtener una planta de altura máxima de 127,67 cm, con la aplicación de CCB, y, la más baja de 88,72 cm, con el tratamiento control, valores superiores a 98 cm, obtenido con T₃ (10 t ha⁻¹), y, 90,53 cm con T₂ (5 t ha⁻¹), obtenidos con el biocarbón enriquecido, en la presente investigación, y, explicado en función, a la eficiente interacción entre el biocarbón y la dosis de P (Ahmed *et al.*, 2021).

Efectos en la producción de maíz como único cultivo rotacional

Ahmed *et al.* (2021), estudiaron en el cultivo de maíz (*Zea mays*), la influencia de la aplicación de biocarbón, obtenido por pirólisis a 500°C por 2 horas en una mufla, empleando residuos verdes (GWB), y, mazorca de maíz (CCB), y, sus formas acidificadas con H₂SO₄ a 0,5N, codificados como AGWB, y, ACCB, agregando 90 g en cada maceta de 20 kg de capacidad, aplicando también fertilizante NPK en dosis de 250, 175 y 125 kg ha⁻¹, logrando obtener incrementos en el peso de las mazorcas de 71,67, 54,17, 119,17, y, 101,67% con la aplicación de CCB, ACCB, GWB y AGWB, respectivamente, valores superiores a 70,04, 44,13, y, 54,22%, con T₂, T₃, y, T₄, con respecto a T₁, obtenidos con el biocarbón enriquecido; explicado por la influencia significativa, de la interacción del biocarbón, y, las dosis de P aplicadas (Ahmed *et al.*, 2021). La influencia del biocarbón, en el rendimiento de maíz, ha sido investigado por Feng *et al.* (2021), usando biocarbón de paja en dosis de 30 t ha⁻¹, lograron un incremento a nivel general del 11,9%, inferior al 32%, obtenido en el presente

estudio. Phares *et al.* (2021), observaron, un efecto de interacción significativo entre la aplicación de biocarbón, y, fertilizante NPK, postulando que podría estar relacionado con el acondicionamiento positivo del suelo a la presencia de biocarbón, y, además, a cargas superficiales del biocarbón, que mejoraron la retención, y, la liberación constante de nutrientes, suministrados por el fertilizante NPK, que fue usado por el cultivo de maíz, por lo cual se infiere, que el biocarbón enriquecido con los nutrientes del biol de vacaza, haya tenido, similar comportamiento en la presente investigación.

Efectos en las características biométricas de los granos maíz como único cultivo rotacional

En un estudio, Feng *et al.* (2021), investigaron el mejoramiento de un suelo ligeramente alcalino, con la incorporación de biocarbón de rastrojo de maíz, pirolizado en un rango de 500 – 600°C, luego molidos a tamaños de partícula de 0,001 – 2,0 mm, con cuya aplicación a tasas de 30 t ha⁻¹, provocó un aumento máximo del rendimiento general de maíz, en 11,9%, por mejoramiento de la calidad de los granos, en comparación, con el tratamiento de control, concluyendo que el uso de biocarbón, puede ser una base práctica, en el mejoramiento de suelos agrícolas débilmente alcalinos, y, degradados, que podría convertirse, en un método eficaz, para disminuir potencialmente la crisis ambiental, y, promover el desarrollo sostenible en la agricultura.

Efectos del biocarbón enriquecido en la fisiología de las plantas de frijol caupí como único cultivo rotacional

Naveed *et al.* (2020), cultivando frijol mungo (*Vigna radiata* L.), aplicando biocarbón de ramas de árboles, pirolizados a 300°C por 3 horas en un horno mufla, lograron plantas de altura promedio de 32,3 cm, inferior a 41,00 cm del frijol caupí estudiado; por su parte, Kumari *et al.* (2022), estudiaron el efecto del biocarbón de estiércol de caballo, en el cultivo de frijol francés (*Phaseolus vulgaris* L.), obteniendo en altura de planta (43,63 cm), resultando en el primer caso, levemente superior a 41,00 cm, obtenido en la presente investigación, y,

longitud de vaina (19,58 cm), ligeramente inferior a 20,73 cm, del frijol caupí investigado.

Efectos en la producción de frijol caupí como único cultivo rotacional

La influencia del biocarbón, acompañado de otros compuestos promotores de la producción de frijol caupí, se explica, a través de investigaciones con especies similares, de autores como El Nahhas et al. (2021), que usando 15 t ha⁻¹ de biocarbón de paja de arroz, más ácido jasmónico en dosis de 0,5 mM, lograron un aumento significativo en el número de vainas, número de semillas/planta, y, peso de 100 semillas (g) en plantas de haba (*Vicia faba* L. Sakha 4). También, Kumari et al. (2022), utilizando biocarbón de estiércol de caballo, lograron obtener 65,32 vainas/planta, en cultivo de frijol francés (*Phaseolus vulgaris* L.). Por su parte, Naveed et al. (2020), usando biocarbón de ramas de árboles, pirolizado a 300°C por 3 h, en un horno mufla, lograron semillas de peso promedio de 1,39 g, en cultivo de frijol mungo (*Vigna radiata*). Liu et al. (2020), aplicaron biocarbón de paja de maíz, pirolizado a 450°C por 2 h, y, en el cultivo de soya (*Glycine max*), obteniendo con 10% de dosis, valores promedio de altura de planta (91,2 cm), de vainas/planta (14,7), de granos por vaina (3), peso de 100 semillas (22,52 g), y, rendimiento de semilla (2 673 kg ha⁻¹).

Efectos en las características biométricas de los granos de frijol caupí como único cultivo rotacional

Los efectos beneficiosos del biocarbón, en el cultivo de frijoles, fue investigado por Saxena *et al.* (2017), que experimentaron en macetas, aplicando biocarbón de estiércol de vaca (CD), madera de pino (PW) y agujas de pino (PN), pirolizados a 350°C por tiempos de 2-3 h, aplicado en forma triturada, en dosis de 15 g kg⁻¹ de suelo, adicionando cepas peletizadas de *Penicillium sp.* (K4), con los cuales, logró mejorar el crecimiento y el rendimiento, de frijol Mungo (*Vigna radiata* cv. Pant moong 5), en comparación con plantas cultivadas en suelo no tratado.

Efectos del biocarbón enriquecido en la fisiología de las plantas de maíz como cultivo asociado

Investigaciones como las de Liu *et al.* (2017), demostraron que el uso del biocarbón con enmiendas de 10 y 20 g kg⁻¹, para promover la absorción de nutrientes, por sistemas de cultivos asociados como maíz (*Zea mays* L.) con soja (*Glycine max* L.), o, maní (*Arachis hypogaea* L.), incrementaron significativamente, la ventaja de rendimiento en los sistemas de maíz/soja y maíz/maní, sobre los cultivos individuales, como producto de la mejora significativa en la absorción de N y P; también aumentó la fijación de N del maní en un 15,52% y un 14,11%, e, incrementó la transferencia de N, del maní al maíz en un 32,66% y un 36,07%, respectivamente, por lo cual, los resultados demuestran, que la modificación del suelo con biocarbón, puede ampliar los beneficios de los cultivos asociados, y, rotacionales, en base a que las leguminosas, mejoran la fijación de N, y, facilitan la transferencia de N, a los cultivos de cereales coexistentes.

Efectos del biocarbón enriquecido en la producción de las plantas de maíz como cultivo asociado

La influencia de la aplicación de biocarbón acompañado de fertilizantes (biol de vacaza), para promover mayor producción de los cultivos, ha sido investigado por Joseph *et al.* (2021), que indican que la adición de biocarbón a los suelos, puede aumentar en promedio, la disponibilidad de P, en un factor de 4,6, así como el rendimiento de los cultivos entre un 10 al 42%, y, con mayores rendimientos en suelos ácidos, que absorben P, con bajo contenido de nutrientes (muy común en los suelos de zonas tropicales). Otros autores, como Elangovan (2014), que investigó durante dos años, el efecto del biocarbón de algarrobo, cáscara de coco, tallos de yuca, y, tallo de algodón, pirolizados a 400°C, agregando NPK, y, estiércol de corral (FYM), en las propiedades del suelo, el rendimiento y la calidad de la asociación de cultivo de algodón, maíz y frijol caupí, logró al tiempo de la cosecha, alturas de plantas de maíz, de 178,3 cm con 5 t ha⁻¹ de biocarbón+100% NPK+FYM), y, 180,6 cm con 10 t ha⁻¹ de biocarbón+100% NPK+FYM, alturas superiores a 100,13 cm, y, 76,20 cm,

obtenidos en esta investigación, y, un incremento del 6,30% en el rendimiento del grano de maíz, con respecto al tratamiento control. La influencia en el rendimiento, se explica, en función a la alta capacidad de adsorción que posee el biocarbón, y, según Hou *et al.* (2022), radica en sus numerosos grupos funcionales adheridos a sus poros externos e internos, del tipo C-O, y, C-N, los cuales hacen posible, la captación de cationes, aniones, numerosos compuestos orgánicos, minerales en nanopartículas, y, metales, traducidos como elementos fertilizantes, promoviendo que los nutrientes estén más disponibles para las plantas (Al-Wabel *et al.*, 2018), y, evita así, su pérdida por lixiviación, asegurando, un mayor y mejor aprovechamiento por las raíces, que luego, mejorarán el rendimiento de los cultivos.

El efecto del biocarbón enriquecido, en la producción de los cultivos de maíz y frijol caupí, de forma rotativa, y, asociada, parece ser que se consolidaría, se acuerdo a Dil (2011), en sumatorias anuales de tasas de biocarbón, y, a largo plazo, pues, las pruebas de campo de biocarbón demostraron que si se aplicaba 1 t ha⁻¹ de biocarbón anualmente, la producción de biomasa de maíz no se vería afectada después de 6 a 12 años (6,2 a 12,4 t de biocarbón ha⁻¹), y podría haber una ligera mejora en los rendimientos de aproximadamente 25% después de 25 años (24,8 t biocarbón ha⁻¹).

Efectos del biocarbón enriquecido en las características biométricas de los granos de maíz como cultivo asociado

Se tiene algunas experiencias de uso de biocarbón con fertilizantes, en cultivos asociados, como el de Wacal *et al.* (2019), que sembraron juntos por un año, arroz (*Oryza sativa*) y sésamo (*Sesamum indicum* L.), aplicando biocarbón de cáscara de arroz, junto con NPK, en dosis de 0, 20, 50, y, 100 t ha⁻¹, obteniendo mayores incrementos de la altura de la planta, el rendimiento y el número total de semillas por planta, con la aplicación de 50 t ha⁻¹, que aumentó significativamente el rendimiento de semillas en un 35,0%, en el primer cultivo, mientras con dosis de 20 t ha⁻¹, aumentó de forma no significativa el rendimiento de semillas en un 25,1% en el segundo cultivo, observando, que las dosis de

biocarbón son muy superiores a los utilizados en la presente investigación. Xiao *et al.* (2020), experimentaron en un cultivo asociado de trigo (*Triticum aestivum* L.) y maíz (*Zea mays*), el efecto de la aplicación de biocarbón de junco (*Phragmites communis* L.), rico en K, y, de bajo costo, demostrando que, el uso de biocarbón en dosis de 6 y 12 t ha⁻¹, junto con el 75% de fertilizante convencional (NPK), aumentó los rendimientos del trigo entre un 11,3% y un 17,1% y del maíz entre un 9,7% y un 14,8%.

Efectos del biocarbón enriquecido en las características nutricionales de los granos de maíz como cultivo asociado

El efecto en el contenido de proteínas, en el cultivo de maíz, asociado a frijol caupí, y, algodón, por aplicación de biocarbón, fue investigado por Elangovan (2014), durante dos años, con biocarbón de algarrobo, cáscara de coco, tallos de yuca, y, tallo de algodón, pirolizados a 400°C, agregando NPK, y, estiércol de corral (FYM), obteniendo en el cultivo de maíz, con la aplicación de 10 t ha⁻¹ más el 100% de la dosis recomendada de NPK, más FYM, un resultado significativamente mayor del contenido de proteína cruda, de 9,94%, y, 10,06%. Inal *et al.* (2015), reportaron el beneficio del cultivo asociado de frijol (*Phaseolus vulgaris*) y maíz (*Zea mays*), con biocarbón de estiércol avícola (0, 2,5, 5, 10 y 20 g kg⁻¹), más estiércol de avícola procesado (0, 5, 10 y 20 g kg⁻¹), con los cuales, lograron incrementar, el contenido de las concentraciones de N, P, K, Zn, Cu y Mn, pero con disminución de las concentraciones de Ca y Mg.

Efectos del biocarbón enriquecido en la fisiología de las plantas de frijol caupí como cultivo asociado

Al respecto, Castro *et al.* (2018), cultivaron maíz (*Zea mays*), y, frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), aplicando biocarbón de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp, en dosis de 15 t ha⁻¹, agregando, y, sin agregar, inóculos de *Azospirillum brasiliense* y fertilizante orgánico (Bokashi), determinando que el biocarbón tuvo un efecto limitado en el aumento del rendimiento del maíz. La influencia del biocarbón, agregado con fertilizantes orgánicos, en los cultivos asociados, para promover el desarrollo de los mismos, ha sido investigado por Inal *et al.*

(2015), asociando frijol (*Phaseolus vulgaris*) y maíz (*Zea mays*), y, usando biocarbón de estiércol avícola en dosis de 0, 2,5, 5, 10, y, 20 g kg⁻¹, más, estiércol avícola procesado, en cantidades de 0, 5, 10 y 20 g kg⁻¹, con los cuales, incrementaron el crecimiento de las plantas de maíz y frijol.

La influencia del biocarbón, acompañado de otros compuestos promotores de la producción vegetal, ha sido investigado por autores, como, El Nahhas *et al.* (2021), que usando 15 t ha⁻¹ de biocarbón de paja de arroz, junto con ácido jasmónico en dosis de 0,5 mM, lograron un aumento significativo en el número de vainas, el número de semillas/planta, y, el peso de 100 semillas (g) en plantas de haba (*Vicia faba* L. Sakha 4). También, Kumari *et al.* (2022), utilizando biocarbón de estiércol de caballo, logró obtener 65,32 vainas/planta, en cultivo de frijol francés (*Phaseolus vulgaris* L.). Por su parte, Naveed *et al.* (2020), usando biocarbón de ramas de árboles, pirolizado a 300°C por 3 h, en un horno mufla, lograron semillas de peso promedio de 1,39 g, en cultivo de frijol mungo (*Vigna radiata*). Liu *et al.* (2020), aplicaron biocarbón de paja de maíz, pirolizado a 450°C por 2 h, y, en el cultivo de soya (*Glycine max*), obteniendo con 10% de dosis, valores promedio de altura de planta (91,2 cm), de vainas/planta (14,7), de granos por vaina (3), peso de 100 semillas (22,52 g), y, rendimiento de semilla (2 673 kg ha⁻¹).

Efectos del biocarbón enriquecido en la producción de las plantas de frijol caupí como cultivo asociado

La influencia del biocarbón con fertilizantes, en la producción de frijol caupí, asociado a otros cultivos, ya ha sido estudiado por Castro *et al.* (2018), que cultivaron maíz (*Zea mays*), y, frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) de forma asociada, usando biocarbón de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth exWalp, en cantidad de 15 t ha⁻¹, incorporando, y, no, inóculos de *Azospirillum brasiliense* y fertilizante orgánico (Bokashi), comprobando, que el biocarbón con sus aditivos, aumentó la producción de vainas de frijol. Según Yan *et al.* (2022), postulan que la aplicación de biocarbón, para complementar el carbono del suelo, es útil para mejorar el crecimiento de las raíces, promover la actividad de las enzimas

metabólicas, aumentar la tasa de la fotosíntesis de las hojas, y, con ello, lograr un mayor rendimiento de los cultivos, pues, se genera un cambio en el ciclo químico de los nutrientes del suelo, y, por consiguiente, se mejora la absorción de los nutrientes minerales por parte de los cultivos.

Efectos del biocarbón enriquecido en las características biométricas de los granos de frijol caupí como cultivo asociado

Los beneficios de la aplicación de biocarbón, junto con fertilizantes, para promover efectos positivos, y, metabolitos de interés en la composición del frijol caupí, ha sido investigado por Phares *et al.* (2020), que aplicaron al suelo, una enmienda de biocarbón en dosis de 1,5 t ha⁻¹ y 2,5 t ha⁻¹, solo, o, acompañado con fertilizante de fósforo inorgánico (superfósforo triple), usando una tasa de 60 kg P ha⁻¹, resultando altamente significativo, al incrementar, el contenido de flavonoides, fenoles, alcaloides, saponina, taninos y actividad antioxidante en las raíces y las hojas del frijol caupí, concluyendo, que, el biocarbón se puede coaplicar con superfósforo triple, a fin de mantener la fertilidad del suelo, mejorar la nodulación, y, aumentar las concentraciones de fitoconstituyentes en el frijol caupí.

Efectos del biocarbón enriquecido en las características nutricionales de los granos de frijol caupí como cultivo asociado

El efecto en el contenido de proteínas, en los frijoles, debido a la aplicación de biocarbón, fue investigado por Elangovan (2014), durante dos años, usando biocarbón de algarrobo, cáscara de coco, tallos de yuca, y, tallo de algodón, pirolizados a 400°C, agregando NPK, y, estiércol de corral (FYM), en la calidad de la asociación de cultivo de algodón, maíz y frijol caupí, obteniendo con 10 t ha⁻¹ de biochar + 100% de NPK + FYM, valores promedios máximos de proteína cruda, en el frijol caupí, de 21,46%, y, 21,54%, y, un valor mínimo de 18,26%, con el tratamiento control. También, Inal *et al.* (2015), determinaron el beneficio del cultivo asociado de frijol (*Phaseolus vulgaris*) y maíz (*Zea mays*), usando biocarbón de estiércol avícola en dosis de 0, 2,5, 5, 10, y, 20 g kg⁻¹, agregando, además, estiércol de avícola procesado en cantidades de 0, 5, 10 y 20 g kg⁻¹, con

los cuales, lograron mayores concentraciones de N, P, K, Ca, Fe, Zn, Cu y Mn, en las semillas de frijol.

5.4. Aporte científico de la investigación

Muchas prácticas agrícolas, desarrolladas de formas inadecuadas, han conducido, y, siguen contribuyendo a generar, problemas en el suelo, como: pérdida de la cobertura productiva por erosión, compactación por uso excesivo de maquinaria agrícola, y/o pisoteo animal, disminución o pérdida de materia orgánica, contaminación por el uso excesivo de fertilizantes químicos, entre otros, pero que conllevan a un destino final, que es la pérdida de la aptitud agronómica del suelo, volviéndolo improductivo, lo cual, repercute de modo directo en la cantidad y calidad de los alimentos de origen agrícola.

En la búsqueda de alternativas viables, desde el punto de vista social, económico, y, ambiental, el uso de biocarbón, acompañado con fertilizantes orgánicos, para promover una agricultura más saludable, sin impactos negativos, con muchas ventajas para el suelo, las plantas, y, el agricultor, se torna en una tecnología emergente, pero que ha tenido sus orígenes en la famosa *Terra Preta*, es decir, una tierra negra, producto de la agregación de carbón vegetal, a los suelos, que los habitantes de la amazonia brasilera, ya practicaban en épocas antiguas, con muy buenos resultados en sus prácticas agrícolas.

El presente estudio, contribuye con los resultados generados, a incrementar los conocimientos, sobre la fabricación de biocarbón, mediante pirólisis, en un carbonizador tipo PhilRice, de estilo abierto, que permite la transformación de residuos agrícolas y agroindustriales, en un material carbonoso, denominado biocarbón. También, en el presente estudio, se hace uso, de biol vacuno, producido por fermentación anaeróbica, de las excretas bovinas. Es así, que ambos productos, el biocarbón, y el biol, se mezclaron, para producir una enmienda, que actúa como un biofertilizante, cuya estructura, incorpora, muchos elementos con características nutricionales, y, que se incorporan en la estructura del biocarbón, por procesos de adsorción y absorción, mediante una migración

hacia su configuración microporosa, contribuyendo a su enriquecimiento con fertilizantes, que tiene un buen impacto en los suelos intervenidos, para promover su actividad microbiológica, además, de contribuir a mejorar en las plantas, su fisiología, y, producción, y, en los frutos, sus características biométricas, y, nutricionales, además, de contribuir al secuestro de carbono, de forma permanente en el suelo.

CONCLUSIONES

- La caracterización física y química del biocarbón, indica que posee los principales elementos fertilizantes de interés agrícola, como N, P, y K, que se vieron incrementados por inmersión en biol de estiércol vacuno.
- La caracterización física y química de los suelos, por aplicación de biocarbón enriquecido indicó: D (g/cm^3) en los 3 bloques disminuyó; pH en los 3 bloques aumentó (- ácido); MO (%) en los 3 bloques aumentó; C (%) en los 3 bloques aumentó; N (%) en los 3 bloques se incrementó; P (ppm) en los 3 bloques aumentó; K (ppm) en los 3 bloques aumentó; Ca^{+2} (meq/100g) en los 3 bloques se incrementó; Mg (meq/100g) en los 3 bloques disminuyó; y, la CIC (meq/100g) en los 3 bloques disminuyó.
- El cuanto a los efectos que causó la aplicación del biocarbón enriquecido en biol bovino, se tiene en:

Fisiología de la planta de maíz, como cultivo único, y, asociado fue:

- Tiempo menor de florescencia al 50% (48 días) como cultivo único, con T₄.
- Altura promedio de planta: 100,13 cm como cultivo asociado, con T₂.
- Menor altura promedio de mazorca en planta: 29,18 cm como cultivo asociado con T₄.
- Mayor diámetro promedio de mazorca: 3,8 cm como cultivo único, con T₃.
- Mayor longitud de mazorca: 17,19 cm como cultivo asociado, con T₂.

Producción de la planta de maíz, como cultivo único, y, asociado fue:

- Número promedio de mazorcas por planta: 1,67 con T₄, en ambos casos.
- Mayor peso promedio de mazorca: 40,52 g como cultivo asociado, con T₂.
- Mayor peso promedio de grano por mazorca: 84,87 g como cultivo único, con T₃.
- Mayor peso promedio de 100 granos: 1,97 g como cultivo único, con T₄.

- Mayor rendimiento de grano por hectárea: 1,69 t ha⁻¹ como cultivo asociado con T₂.

Características biométricas del grano de maíz, como cultivo único, y, asociado fue:

- Mayor longitud del grano: 0,93 cm como cultivo único, con T₂.
- Mayor ancho de grano: 0,58 cm como cultivo único, con T₄.
- Mayor espesor de grano: 0,21 cm como cultivo único, con T₄.

Fisiología de la planta de frijol caupí, como cultivo único, y, asociado fue:

- Tiempo menor de florescencia al 50% (52 días) como cultivo asociado, con T₄.
- Altura promedio de planta: 44 cm como cultivo único, con T₂.
- Mayor longitud de vaina: 20,73 cm como cultivo único, con T₄.

Producción de la planta de frijol caupí, como cultivo único, y, asociado fue:

- Número promedio de vainas por planta: 24,67 como cultivo único, con T₂.
- Mayor peso promedio de vaina: 2,89 g como cultivo único, con T₄.
- Mayor peso promedio de grano por vaina: 27,66 g como cultivo único, con T₄.
- Mayor peso promedio de 100 granos: 15,67 g como cultivo asociado, con T₂.
- Mayor rendimiento de grano por hectárea: 3,72 t ha⁻¹ como cultivo único, con T₄.

Características biométricas del grano de frijol caupí, como cultivo único, y, asociado fue:

- Mayor longitud del grano: 0,9 cm como cultivo único, con T₂.
- Mayor ancho de grano: 0,63 cm como cultivo único, con T₂.
- Mayor espesor de grano: 0,64 cm como cultivo único, con T₂.

- La caracterización nutricional de las semillas de maíz y frijol caupí, cultivadas en asociación, con biocarbón enriquecido, mostró, las siguientes características:

Características nutricionales del grano de maíz:

- Mayor contenido de proteína: 10,88 g proteína/100 g maíz con T₄.

- Mayor contenido de grasa: 5,30 g grasa/100 g maíz con T₂.

Características nutricionales del grano de frijol caupí:

- Mayor contenido de proteína: 27,75 g proteína/100 g frijol caupí con T₂.
 - Mayor contenido de grasa: 1,52 g grasa/100 g frijol caupí con T₄.
- La aplicación de biocarbón en asociación con fertilizantes orgánicos, se postula que es beneficioso para las plantas, debido a sus sitios activos, pueden adsorber nutrientes y actuar como fertilizante del suelo, pero de liberación lenta, y, la aplicación combinada, podría mostrar una mejor eficiencia en el uso de nutrientes, al evitar su lixiviación, lo cual puede contribuir a evitar la emisión de gases de efecto invernadero, y, proporcionar nutrientes para las plantas, contribuyendo así a la producción de alimentos, y, sobre todo, minimizar la necesidad de aplicar fertilizantes comerciales.
- Los efectos beneficiosos del biocarbón, como promotor de la productividad de las plantas, pueden comprenderse como físicos, químicos y biológicos, a través de mecanismos específicos: Mejoramiento de la capacidad de retención de agua; modificación del pH del suelo intervenido; aporte de forma directa e indirecta, de nutrientes fáciles de absorber para las plantas; y, la promoción de consorcios microbianos, que desarrollen reacciones bioquímicas beneficiosas, para afianzar la alianza:

Suelo + biocarbón + microorganismos + raíces + planta.

SUGERENCIAS

- Se debe seguir investigando, la influencia del biocarbón enriquecido, para la producción sostenible de cultivos, a pesar que muchos estudios, han mostrado, y, siguen aportando resultados positivos de su aplicación a los cultivos, pero todavía, los resultados son diferentes, y, se postula que obedecen al tipo de materia prima para fabricar el biocarbón, las técnicas de pirólisis, las dosis y granulometría de aplicación, las especies cultivadas, el tipo y propiedades del suelo, y, la práctica de adicionarle fertilizantes, para garantizar un rendimiento óptimo de los cultivos.

- Se debe profundizar el estudio de las características físicas y químicas del biocarbón, y su activación en biol, así como su influencia en las características físicas y químicas de los suelos, para garantizar su uso en la agricultura, pues no se trata de un abono o fertilizante todavía de alto rendimiento, que puede solucionar los problemas agrícolas y ambientales, ampliando la comprensión de las relaciones, originadas entre las tecnologías de producción y las propiedades del biocarbón, y, su papel de mejorador de suelos degradados, con efectos positivos en el rendimiento de los cultivos, que puedan garantizar su sostenibilidad en el tiempo.

- Promover estudios de campo, en el mediano y largo plazo, enfocados en demostrar los efectos del biocarbón, y, las mezclas de biocarbón con fertilizantes orgánicos (compost, humus, bioles), en diferentes cultivos, otros tipos de suelo, y, en climas y altitudes variadas, así como sus efectos en las características fisiológicas y productivas de las plantas, incluyendo estudios de la biometría y características nutricionales de las semillas o frutas, para mejorar la comprensión, y promoción del potencial del biocarbón enriquecido, buscando la sostenibilidad de la producción agrícola, y, como alternativa para contribuir a disminuir el cambio climático.

REFERENCIAS

- Acosta Vidaurre, R. (2019). Características físicas, químicas, microbiológicas y efectividad agronómica del abono líquido biol obtenido por digestión anaerobia de estiércol de animales con rastrojo (Tesis de POSGRADO). Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo, Lambayeque, Perú.
- Agegehu, G., Srivastava, A. K., & Bird, M. I. (2017). The role of biochar and biochar-compost in improving soil quality and crop performance: A review. *Applied Soil Ecology*, 119, 156-170.
- Agler, M. T., Wrenn, B. A., Zinder, S. H., & Angenent, L. T. (2011). Waste to bioproduct conversion with undefined mixed cultures: the carboxylate platform. *Trends in biotechnology*, 29(2), 70-78.
- Ahmed, N., Basit, A., Bashir, S., Bashir, S., Bibi, I., Haider, Z., Ali, M. A., Aslam, Z., Aon, M., Alotaibi, S. S., El-Shehawi, A. M., Samreen, T., & Li, Y. (2021). Effect of acidified biochar on soil phosphorus availability and fertilizer use efficiency of maize (*Zea mays* L.). *Journal of King Saud University-Science*, 33(8), 101635.
- Aker Narváez, C. E. (2014). Evaluación del uso de estufas ecológicas, análisis de la producción y uso del biocarbón como enmienda del suelo en los rendimientos de maíz (*Zea mays*) en tres municipios de León, Nicaragua (Tesis de posgrado). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza- CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Albuquerque, A. R., Angélica, R. S., Merino, A., & Paz, S. P. (2021). Chemical and mineralogical characterization and potential use of ash from Amazonian biomasses as an agricultural fertilizer and for soil amendment. *Journal of Cleaner Production*, 295, 126472.
- Alegre, J., Sánchez, Y., Pizarro, D., & Gómez, C. (2019). Manejo de los suelos con sistemas silvopastoriles en las regiones de Amazonas y San Martín. ESERGRAF Ediciones. Lima, Perú.
- Ali Roths Schuh, M. D. (2013). Efecto del biochar y la inoculación con micorriza y trichoderma en el mejoramiento de la calidad del suelo y el crecimiento de pasto King grass (*Pennisetum purpureum*) [Tesis de pregrado]. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras.

- Al-Wabel, M. I., Hussain, Q., Usman, A. R., Ahmad, M., Abduljabbar, A., Sallam, A. S., & Ok, Y. S. (2018). Impact of biochar properties on soil conditions and agricultural sustainability: A review. *Land Degradation & Development*, 29(7), 2124-2161.
- An, X., Wu, Z., Yu, J., Ge, L., Li, T., Liu, X., & Yu, B. (2020). High-efficiency reclaiming phosphate from an aqueous solution by bentonite modified biochars: a slow release fertilizer with a precise rate regulation. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 8(15), 6090-6099.
- Andrade, F. H., Taboada, M. A., Lema, R. D., Maceira, N. O., Echeverria, H. E., Posse Beaulieu, G., ... & Gamundi, J. C. (2017). Los desafíos de la agricultura argentina: satisfacer las futuras demandas y reducir el impacto ambiental. Ediciones INTA.
- Apori, S. O., Byalebeka, J., Murongo, M., Ssekandi, J., & Noel, G. L. (2021). Effect of co-applied corncob biochar with farmyard manure and NPK fertilizer on tropical soil. *Resources, Environment and Sustainability*, 5, 100034.
- Arif, M., Ilyas, M., Riaz, M., Ali, K., Shah, K., Haq, I. U., & Fahad, S. (2017). Biochar improves phosphorus use efficiency of organic-inorganic fertilizers, maize-wheat productivity and soil quality in a low fertility alkaline soil. *Field Crops Research*, 214, 25-37.
- Arroyo-Kalin, M. (2012). Slash-burn-and-churn: Historia del paisaje y cultivo de cultivos en la Amazonía precolombina. *Cuaternario internacional*, 249, 4-18.
- Badu, E. (2017). Effects of biochar and inorganic fertilizer application on soil fertility and agronomic performance of maize (*Zea mays*) (Tesis doctoral). Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Kumasi, Ghana.
- Briones Lopez, W. A. (2017). El cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L.) y sus respuestas a la aplicación de carbón vegetal (Biochar) en la zona de Baba Ecuador (Tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil, Vinces, Los Ríos, Ecuador.
- Bonzano Del Aguila, E. H. (2021). Caracterización de suelos de restinga baja para la producción de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) en los sectores de Vista Alegre y Pacacocha (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa, Perú.
- Cabello-Torres, R. J., Romero-Longwell, J. R., Valdiviezo-Gonzales, L., Munive-Cerrón, R., & Castañeda-Olivera, C. A. (2021). Biocarbón derivado de excretas

- porcinas con capacidad de disminuir la disponibilidad de Pb en suelos agrícolas contaminados. *Scientia Agropecuaria*, 12(4), 461-470.
- Cao, X., & Harris, W. (2010). Properties of dairy-manure-derived biochar pertinent to its potential use in remediation. *Bioresource technology*, 101(14), 5222-5228.
- Cao, D., Lan, Y., Chen, W., Yang, X., Wang, D., Ge, S., Yan, J., & Wang, Q. (2021). Successive applications of fertilizers blended with biochar in the soil improve the availability of phosphorus and productivity of maize (*Zea mays* L.). *European Journal of Agronomy*, 130, 126344.
- Casas, A., Parra, F., Blancas, J., Rangel-Landa, S., Vallejo, M., Figueredo, C. J., & Moreno Calles, A. I. (2016). Origen de la domesticación y la agricultura: cómo y por qué. *Domest. en el Cont. Am*, 1, 189-224.
- Castillo Ruíz, C. (2019). Factores que limitan la adopción de los sistemas agroforestales pecuarios por parte de ganaderos en la microcuenca Agua Negra, abastecedora del Acueducto Municipal de Puerto Asís-Putumayo (Tesis de posgrado). Universidad de Manizales, Caldas, Colombia.
- Castro, A., da Silva Batista, N., Latawiec, A. E., Rodrigues, A., Strassburg, B., Silva, D., Araujo, E., De Moraes, L. F. D., Guerra, J. G., Galvão, G., Alves-Pinto, H., Mendes, M., Dos Santos, J. S., Rangel, M. C., Figueredo, M., Cornelissen, G., & Hale, S. (2018). The effects of *Gliricidia*-derived biochar on sequential maize and bean farming. *Sustainability*, 10(3), 578.
- Cayuela, ML, Van Zwieten, L., Singh, BP, Jeffery, S., Roig, A., & Sánchez-Monedero, MA (2014). El papel del biocarbón en la mitigación de las emisiones de óxido nitroso del suelo: una revisión y un metanálisis. *Agricultura, ecosistemas y medio ambiente*, 191, 5-16.
- Chan, K. Y., & Xu, Z. (2009). Biochar: nutrient properties and their enhancement. *Biochar for environmental management: science and technology*, 1, 67-84.
- Chavez G. J. M., & Herrera O. M. (2022). Aplicación de Abono Orgánico a Base de Residuos Orgánicos Municipales para la Recuperación de Suelos Degradados, Distrito San José de Sisa, 2021 (Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo, Lima, Perú.

- Cen, R., Feng, W., Yang, F., Wu, W., Liao, H., & Qu, Z. (2021). Effect mechanism of biochar application on soil structure and organic matter in semi-arid areas. *Journal of Environmental Management*, 286, 112198.
- Cevallos Cevallos, A. R. (2020). Producción de biol a partir de excretas de ganado vacuno en la finca Toala León de la comunidad de Joajipijapa (Tesis de grado). Universidad Estatal del Sur de Manabí, Manabí, Ecuador.
- Climent, M. J., Corma, A., & Iborra, S. (2014). Conversion of biomass platform molecules into fuel additives and liquid hydrocarbon fuels. *Green Chemistry*, 16(2), 516-547.
- de Mantilla, Evelyn E. (2018). Del antropocentrismo al biocentrismo: un recorrido hacia la educación para el desarrollo sostenible. *Revista Agrollania de Ciencia y Tecnología*, 16.
- de Wit, H. A., Groseth, T., & Mulder, J. (2001). Predicting aluminum and soil organic matter solubility using the mechanistic equilibrium model WHAM. *Soil Science Society of America Journal*, 65(4), 1089-1100.
- Dil, M. (2011). The effects of nitrogen-enriched biochar on maize (*Zea mays*) productivity and soil organic carbon (Doctoral dissertation, University of Waterloo). University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canadá.
- Estrada Arrieta, E. (2021). Sistemas de uso de la tierra con cobertura de bosque y pasto para uso ganadero en selva alta Tingo María (Tesis de grado). Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú.
- Elangovan, R. (2014). Effect of biochar on soil properties, yield and quality of cotton-maize-cowpea cropping sequence (Doctoral dissertation). Tamil Nadu Agricultural University, Coimbatore, India.
- El-Naggar, A., Awad, Y. M., Tang, X. Y., Liu, C., Niazi, N. K., Jien, S. H., Tsang, D. C. W., Song, H., Ok, Y. S., & Lee, S. S. (2018a). Biochar influences soil carbon pools and facilitates interactions with soil: A field investigation. *Land degradation & development*, 29(7), 2162-2171.
- El-Naggar, A., Lee, S. S., Awad, Y. M., Yang, X., Ryu, C., Rizwan, M., Rinklebeh, J., Tsang, D. C. W., & Ok, Y. S. (2018b). Influence of soil properties and feedstocks on biochar potential for carbon mineralization and improvement of infertile soils. *Geoderma*, 332, 100-108.

- El Nahhas, N., AlKahtani, M. D. F., Abdelaal, K. A., Al Husnain, L., AlGwaiz, H. I. M., Hafez, Y. M., Attia, K. A., El Esawit, M. A., Ibrahim, M. F. M., & Elkelish, A. (2021). Biochar and jasmonic acid application attenuates antioxidative systems and improves growth, physiology, nutrient uptake and productivity of faba bean (*Vicia faba* L.) irrigated with saline water. *Plant Physiology and Biochemistry*, 166, 807-817.
- Etchevers J. D, Saynes V., Sánchez M. M., Roosevelt F. D. (2016). Manejo sustentable del suelo para la producción agrícola. *El Sistema Agroalimentario de México*. Editorial del Colegio de Postgraduados, AMC, Conacyt-UPAEP-IMINAP. San Luis Huexotla, Texcoco, Edo. de México:63-79.
- Ezike Ogechukwu, B. (2016). Impact of biochar, cattle manure and mineral fertilizer on soil properties and grain yield of maize (*Zea mays* L.) In the Guinea Savannah zone of Ghana (Doctoral dissertation). Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Kumasi, Ghana.
- Fachini, J., de Figueiredo, C. C., & do Vale, A. T. (2022). Assessing potassium release in natural silica sand from novel K-enriched sewage sludge biochar fertilizers. *Journal of Environmental Management*, 314, 115080.
- FAO-Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Producción de alimentos para el 2050 (Internet). Congreso Paraguay. Oct 2017 [citado 21 Feb 2018]. Disponible en <http://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/229357/>.
- FAO. FAO Statistical yearbook. (2013). Roma. 2013a.
- Fassbender, H. W., & Bornemisza, E. (1987). Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. IICA.
- Fassbender, H. W. (1986). Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. Ed. IICA.
- Feng, Q., Chen, M., Wu, P., Zhang, X., Wang, S., Yu, Z., & Wang, B. (2022). Calcium alginate-biochar composite as a novel amendment for the retention and slow-release of nutrients in karst soil. *Soil and Tillage Research*, 223, 105495.
- Feng, W., Yang, F., Cen, R., Liu, J., Qu, Z., Miao, Q., & Chen, H. (2021). Effects of straw biochar application on soil temperature, available nitrogen and growth of corn. *Journal of Environmental Management*, 277, 111331.

- Fernández Linares, L. C. (2006). Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados (No. Sirsi) i9684890397).
- Forero Gutierrez, D., & Navarro Muñoz, J. P. (2017). Implementación de alternativa de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos mediante el proceso de pirólisis lenta para la obtención de materiales de uso agrícola (Tesis de grado]. Bogotá: Universidad De La Salle, Colombia.
- Forero, S. E. A., Gambasica, N. V. P., & O'Byrne, R. K. C. (2022). Relación entre nutrientes con carbono, nitrógeno y materia orgánica en suelos de la zona bananera de Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(2), 93-112.
- Gabhi, R., Basile, L., Kirk, D. W., Giorcelli, M., Tagliaferro, A., & Jia, C. Q. (2020). Electrical conductivity of wood biochar monoliths and its dependence on pyrolysis temperature. *Biochar*, 2(3), 369-378.
- García, J. A., & Yañez, E. E. (2010). Generación y uso de biomasa en plantas de beneficio de palma de aceite en Colombia. *Revista Palmas*, 31(2), 41-48.
- García, J. D. R., & González, S. D. P. (2018). Germinación de semillas de tomate (*Solanum lycopersicum*), papaya (*Carica papaya* L.) y maracuyá (*Passiflora edulis*) utilizando sustratos orgánicos. *Revista Sistemas de Producción Agroecológicos*, 9(2), 18-35.
- García-Núñez, J. A., Ramírez-Contreras, N. E., Rodríguez, D. T., Silva-Lora, E., Frear, C. S., Stockle, C., & García-Pérez, M. (2016). Evolution of palm oil mills into bio-refineries: Literature review on current and potential uses of residual biomass and effluents. *Resources, Conservation and Recycling*, 110, 99-114.
- Gilces Reyna, A. M. (2014). Efectos de la aplicación de biochar y cenizas en las propiedades del suelo (Tesis de posgrado). Universidad de Valladolid, Valladolid, España.
- Giorcelli, M., Savi, P., Khan, A., & Tagliaferro, A. (2019). Analysis of biochar with different pyrolysis temperatures used as filler in epoxy resin composites. *Biomass and Bioenergy*, 122, 466-471.
- Giroux, H. J., Veillette, N., & Britten, M. (2018). Use of denatured whey protein in the production of artisanal cheeses from cow, goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*, 161, 34-42.

- Gobierno Regional de Ucayali-Ucayali ya es el primer productor de palma aceitera en el Perú con 40 mil hectáreas de este cultivo [Internet]. Oficina de Imagen Institucional. 12 Dic 2017 [citado 22 Feb 2018]. Disponible en http://www.regionucayali.gob.pe/prensa/index.php?option=com_content&view=article&id=3233:2017-12-12-17-29-31&catid=1:latest-news&Itemid=18.
- Gonzaga, A., Rimaycuna, J., Cruz, G. J. F., Herrera, E. L., Gómez, M. M., Solis, J. L., ... & Keiski, R. L. (2021). Remoción de plomo presente en soluciones acuosas utilizando biocarbón producido a base de coronta de maíz. *Manglar*, 18(1), 35-43.
- Graber, E. R., Harel, Y. M., Kolton, M., Cytryn, E., Silber, A., David, D. R., ... & Elad, Y. (2010). Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media. *Plant and soil*, 337(1-2), 481-496.
- Grández Garate, D. A. (2022). Efecto de la aplicación de roca fosfórica y dos fertilizantes en el crecimiento inicial de tres especies forestales en un suelo degradado de Pucallpa (Tesis de grado). Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa, Perú.
- Guevara López, R. L., Alarcón Bustamante, A. J. (2019). Caracterización macronutricional y comparación de biol producido con estiércol de ganado vacuno y de gallina (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Jaén, Jaén, Perú.
- Hao, S., Zhu, X., Liu, Y., Qian, F., Fang, Z., Shi, Q., Zhang, S., Chen, J., & Ren, Z. J. (2018). Production temperature effects on the structure of hydrochar-derived dissolved organic matter and associated toxicity. *Environmental science & technology*, 52(13), 7486-7495.
- Hassan, M., Liu, Y., Naidu, R., Parikh, S. J., Du, J., Qi, F., & Willett, I. R. (2020). Influences of feedstock sources and pyrolysis temperature on the properties of biochar and functionality as adsorbents: A meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 744, 140714.
- Henreaux, J. (2012). Efecto del biocarbón combinado con fertilizantes orgánicos y microorganismos benéficos sobre el desarrollo, productividad y resistencia de las plantas, Turrialba, Costa Rica (Tesis de posgrado). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza- CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Hoheneder, R., Fitz, E., Bischof, R. H., Russmayer, H., Ferrero, P., Peacock, S., & Sauer, M. (2021). Efficient conversion of hemicellulose sugars from spent sulfite

- liquor into optically pure L-lactic acid by *Enterococcus mundtii*. *Bioresource Technology*, 333, 125215.
- Hojah da Silva J. (2013). Impacto del uso de biocarbón sobre la calidad de suelos y Producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en sistemas agroforestales, Reserva Indígena Bribri, Talamanca, Costa Rica (Tesis de posgrado). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza- CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Hou, J., Pugazhendhi, A., Sindhu, R., Vinayak, V., Thanh, N. C., Brindhadevi, K., & Chi, N. T. L. (2022). An assessment of biochar as a potential amendment to enhance plant nutrient uptake. *Environmental Research*, 214, 113909.
- Hu, P., Zhang, Y., Liu, L., Wang, X., Luan, X., Ma, X., Chu, P. K., Zhou, J., & Zhao, P. (2019). Biochar/struvite composite as a novel potential material for slow release of N and P. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(17), 17152-17162.
- Huang, M., Li, Z., Wen, J., Ding, X., Zhou, M., Cai, C., & Shen, F. (2021). Molecular insights into the effects of pyrolysis temperature on composition and copper binding properties of biochar-derived dissolved organic matter. *Journal of Hazardous Materials*, 410, 124537.
- Inal, A., Gunes, A., Sahin, O. Z. G. E., Taskin, M. B., & Kaya, E. C. (2015). Impacts of biochar and processed poultry manure, applied to a calcareous soil, on the growth of bean and maize. *Soil Use and Management*, 31(1), 106-113.
- Inversión en la Infancia. Ucayali: distritos con altos índices de anemia y desnutrición luchan contra la anemia [Internet]. Edición 170. Oct 2016 [citado 21 Feb 2018]. Disponible en <https://inversionenlainfancia.net/blog/entrada/noticia/3423/0>.
- Joseph, S., Cowie, A. L., Van Zwieten, L., Bolan, N., Budai, A., Buss, W., Cayuela, M. L., Graber, E. R., Ippolito, J. A., Kuzyakov, Y., Luo, Y., Ok, Y. S., Palansooriya K. N., Shepherd, J., Stephens, S., Weng, Z. H., & Lehmann, J. (2021). How biochar works, and when it doesn't: A review of mechanisms controlling soil and plant responses to biochar. *GCB Bioenergy*, 13(11), 1731-1764.
- Kaiser, K., & Guggenberger, G. (2000). The role of DOM sorption to mineral surfaces in the preservation of organic matter in soils. *Organic geochemistry*, 31(7-8), 711-725.

- Kane, S., Ulrich, R., Harrington, A., Stadie, N. P., & Ryan, C. (2021). Physical and chemical mechanisms that influence the electrical conductivity of lignin-derived biochar. *Carbon Trends*, 5, 100088.
- Kennedy, J., Billett, M. F., Duthie, D., Fraser, A. R., & Harrison, A. F. (1996). Organic matter retention in an upland humic podzol; the effects of pH and solute type. *European Journal of Soil Science*, 47(4), 615-625.
- Kim, P., Hensley, D., & Labbé, N. (2014). Nutrient release from switchgrass-derived biochar pellets embedded with fertilizers. *Geoderma*, 232, 341-351.
- Klug, M. (2012). Pirólisis, un proceso para derretir la biomasa. *Revista de Química*, 26(1-2), 37-40.
- Kumari, S., Kumar, V., Kothari, R., & Kumar, P. (2022). Effect of supplementing biochar obtained from different wastes on biochemical and yield response of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.): An experimental study. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 43, 102432.
- Ladd, B., Dumler, S., de Mola, E. L., de la Rosa, R. A., & Borchard, N. (2018). Incremento de rentabilidad en producción del maíz en Perú: nfertilizantes y biocha. *The Biologist*, 15(2).
- Lanzerstorfer, C. (2015). Chemical composition and physical properties of filter fly ashes from eight grate-fired biomass combustion plants. *Journal of Environmental Sciences*, 30, 191-197.
- Lee, X. J., Lee, L. Y., Gan, S., Thangalazhy-Gopakumar, S., & Ng, H. K. (2017). Biochar potential evaluation of palm oil wastes through slow pyrolysis: thermochemical characterization and pyrolytic kinetic studies. *Bioresource technology*, 236, 155-163.
- Lehmann, J., & Joseph, S. (Eds.). (2015). *Biochar for environmental management: science, technology and implementation*. Routledge.
- Leveau Díaz, M. (2018). Efecto de la aplicación de biochar derivado de residuos verdes y estiércol de cerdo, sobre el balance de nitrógeno en el sistema suelo-planta (suelos aluviales y *Zea mays* L.) en San Ramón (Perú) (Tesis de pregrado). Universidad Científica del Sur, Lima, Perú.
- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B. J., Skjemstad, J. O., Thies, J., Luizão, F. J., Petersen, J., Neves, E. G., & Neves, E.

- G. (2006). Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil science society of America journal*, 70(5), 1719-1730.
- Liu, D., Feng, Z., Zhu, H., Yu, L., Yang, K., Yu, S., Zhang, Y., & Guo, W. (2020). Effects of corn straw biochar application on soybean growth and alkaline soil properties. *BioResources*, 15(1), 1463-1481.
- Liu, L., Wang, Y., Yan, X., Li, J., Jiao, N., & Hu, S. (2017). Biochar amendments increase the yield advantage of legume-based intercropping systems over monoculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 237, 16-23.
- Lu, H. L., Li, K. W., Nkoh, J. N., He, X., Hong, Z. N., & Xu, R. K. (2022). Effects of the increases in soil pH and pH buffering capacity induced by crop residue biochars on available Cd contents in acidic paddy soils. *Chemosphere*, 301, 134674.
- Luo, W., Qian, L., Liu, W., Zhang, X., Wang, Q., Jiang, H., Chen, B., Ma, H., & Wu, Z. (2021). A potential Mg-enriched biochar fertilizer: Excellent slow-release performance and release mechanism of nutrients. *Science of The Total Environment*, 768, 144454.
- Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S. J., & Lehmann, J. (2010). Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and soil*, 333(1-2), 117-128.
- Mandal, S., Thangarajan, R., Bolan, NS, Sarkar, B., Khan, N., Ok, YS y Naidu, R. (2016). Disminución concomitante inducida por biocarbón en la volatilización de amoníaco y aumento en la eficiencia del uso de nitrógeno por parte del trigo. *Chemosphere* , 142 , 120-127.
- Martínez Chávez, C. C. (2015). Efectos de enmiendas de biochar sobre el desarrollo en *Cucumis sativus* L. Var. SMR-58 (Tesis de grado). Universidad de Guadalajara, Zapopá, Jalisco, México.
- Mauricio S. ¿Cómo se alimenta el Perú? Esta es la situación nutricional de los peruanos [Internet]. *El Comercio-Perú*. 4 Ago 2017 [citado 21 Feb 2018]. Disponible en: <https://elcomercio.pe/suplementos/comercial/educacion-nutricion/esta-situacion-nutricional-peruanos-1002921>.

- Mensah, A. K., & Frimpong, K. A. (2018). Biochar and/or compost applications improve soil properties, growth, and yield of maize grown in acidic rainforest and coastal savannah soils in Ghana. *International Journal of Agronomy*, 2018.
- Miranda, O. M., Fonseca, P. L., Ponce, I., Cedeño, C., Rivero, L. S., & Vázquez, L. M. (2021). Elaboración de una bebida fermentada a partir del suero de queso. Características distintivas y control de la calidad. *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*, 17(2), 6.
- Monterumici, C. M., Rosso, D., Montoneri, E., Ginepro, M., Baglieri, A., Novotny, E. H., ... & Negre, M. (2015). Processed vs. non-processed biowastes for agriculture: effects of post-harvest tomato plants and biochar on radish growth, chlorophyll content and protein production. *International journal of molecular sciences*, 16(4), 8826-8843.
- Montoro, S. B., Lucas Jr, J., Santos, D. F. L., & Costa, M. S. S. M. (2019). Anaerobic co-digestion of sweet potato and dairy cattle manure: A technical and economic evaluation for energy and biofertilizer production. *Journal of cleaner production*, 226, 1082-1091.
- Moratorio D., Rocco. I., Castelli. M. (2012). Conversión de residuos sólidos urbanos en energía. *Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica*, (10):115-126.
- Naveed, M., Mustafa, A., Azhar, S. Q. T. A., Kamran, M., Zahir, Z. A., & Núñez-Delgado, A. (2020). Burkholderia phytofirmans PsJN and tree twigs derived biochar together retrieved Pb-induced growth, physiological and biochemical disturbances by minimizing its uptake and translocation in mung bean (*Vigna radiata* L.). *Journal of environmental management*, 257, 109974.
- Noguera, D., Barot, S., Laossi, K. R., Cardoso, J., Lavelle, P., & de Carvalho, M. C. (2012). Biochar but not earthworms enhances rice growth through increased protein turnover. *Soil Biology and Biochemistry*, 52, 13-20.
- Novak, J. M., Johnson, M. G., & Spokas, K. A. (2018). Concentration and release of phosphorus and potassium from lignocellulosic-and manure-based biochars for fertilizer reuse. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 54.
- Núñez, M. Á. (2000). *Manual de técnicas agroecológicas* (No. 04; S589. 7, N8.). Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina Regional para América Latina y el Caribe.

- Orozco Gutiérrez, G., Medina Telez, L., Elvira Espinosa, A., & Cervantes Preciado, J. F. (2021). Biocarbón de bambú como mejorador de la fertilidad del suelo en caña de azúcar. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 12(65), 67-88.
- Paneque, M., José, M., Franco-Navarro, JD, Colmenero-Flores, JM y Knicker, H. (2016). Efecto de la enmienda del biochar sobre la morfología, la productividad y las relaciones hídricas de las plantas de girasol en condiciones sin riego. *Catena*, 147, 280-287.
- Panhwar, Q. A., Naher, U. A., Shamsuddin, J., & Ismail, M. R. (2020). Effects of biochar and ground magnesium limestone application, with or without bio-fertilizer addition, on biochemical properties of an acid sulfate soil and rice yield. *Agronomy*, 10(8), 1100.
- Pariyar, P., Kumari, K., Jain, M. K., & Jadhao, P. S. (2020). Evaluation of change in biochar properties derived from different feedstock and pyrolysis temperature for environmental and agricultural application. *Science of the Total Environment*, 713, 136433.
- Pavlíková, D., Zemanova, V., Břendová, K., Kubatova, P., & Tlustoš, P. (2017). Effect of biochar application on the content of nutrients (Ca, Fe, K, Mg, Na, P) and amino acids in subsequently growing spinach and mustard. *Plant, Soil and Environment*, 63(7), 322-327.
- Pérez-González, G., Hidalgo-Moreno, C., Etchevers-Barra, J. D., de Jong, B., Salgado-García, S., Valtierra-Pacheco, E., & López-López, M. Á. (2021). Evaluación de biocarbón de caña de azúcar en el desarrollo de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. en condiciones de vivero. *Revista Terra Latinoamericana*, 39.
- Phares, C. A., & Akaba, S. (2022). Co-application of compost or inorganic NPK fertilizer with biochar influenced soil quality, grain yield and net income of rice. *Journal of Integrative Agriculture*.
- Phares, C. A., Amoakwah, E., Danquah, A., Akaba, S., Frimpong, K. A., & Mensah, T. A. (2021). Improved soil physicochemical, biological properties and net income following the application of inorganic NPK fertilizer and biochar for maize production. *Acta Ecologica Sinica*.
- Phares, C. A., Atiah, K., Frimpong, K. A., Danquah, A., Asare, A. T., & Aggor-Woananu, S. (2020). Application of biochar and inorganic phosphorus fertilizer

- influenced rhizosphere soil characteristics, nodule formation and phytoconstituents of cowpea grown on tropical soil. *Heliyon*, 6(10), e05255.
- Puentes-Escobar, T. C., & Rodríguez Carlosama, A. (2021). Impacto del biocarbón en el suelo agrícola. *Revista Avances: Investigación en Ingeniería*, 18(2).
- Qi, L., Liu, X., Miao, Y., Chatzisyneon, E., Yang, P., Lu, H., & Pang, L. (2021). Response of cattle manure anaerobic digestion to zinc oxide nanoparticles: Methane production, microbial community, and functions. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(6), 106704.
- Quintero-Angel, M., Carvajal-Escobar, Y., & Aldunce, P. (2012). Adaptación a la variabilidad y el cambio climático: intersecciones con la gestión del riesgo. *Revista Luna Azul*, (34), 257-271.
- Rajapaksha, A. U., Ok, Y. S., El-Naggar, A., Kim, H., Song, F., Kang, S., & Tsang, Y. F. (2019). Dissolved organic matter characterization of biochars produced from different feedstock materials. *Journal of environmental management*, 233, 393-399.
- Raza, S. T., Wu, J., Rene, E. R., Ali, Z., & Chen, Z. (2022). Reuse of agricultural wastes, manure, and biochar as an organic amendment: A review on its implications for vermicomposting technology. *Journal of Cleaner Production*, 132200.
- Rebolledo, A. E., López, G. P., Moreno, C. H., Collado, J. L., Alves, J. C., Pacheco, E. V., & Barra, J. D. E. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Revista terra latinoamericana*, 34(3), 367-382.
- Rengifo Saavedra, C. (2014). Efecto de la aplicación de Enmienda Orgánica y Mineral sobre la fertilidad de un suelo Ácido Ultisol de la Amazonía Peruana (Tesis doctoral). Universitat Politècnica de València, Valencia, España.
- Rodríguez-Berbel, N., Soria, R., Ortega, R., Lucas-Borja, M. E., & Miralles, I. (2022). Benefits of applying organic amendments from recycled wastes for fungal community growth in restored soils of a limestone quarry in a semiarid environment. *Science of The Total Environment*, 806, 151226.
- Rojas Restrepo, J. J. (2015). Fertilidad de suelos en plantaciones forestales del trópico colombiano (Tesis de posgrado). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.

- Ronsse, F., Van Hecke, S., Dickinson, D., & Prins, W. (2013). Production and characterization of slow pyrolysis biochar: influence of feedstock type and pyrolysis conditions. *Gcb Bioenergy*, 5(2), 104-115.
- Salcedo, S., Canihua Rojas, J., Quispe, M., & Cosme, R. (2022). Influencia de las enmiendas orgánicas en el suelo y el comportamiento agronómico de *Chenopodium quinoa* Willd. en el Altiplano peruano. *Agroindustrial Science*. 12 (1): 39-46 (2022).
- Samoraj, M., Mironiuk, M., Witek-Krowiak, A., Izydorczyk, G., Skrzypczak, D., Mikula, K., Baśladyńska, S., Moustakas, K., & Chojnacka, K. (2022). Biochar in environmental friendly fertilizers-Prospects of development products and technologies. *Chemosphere*, 296, 133975.
- Sánchez, G., Ramírez, J., James, A., Deago, E., & Villarreal, J. (2021). Evaluación del potencial de lodos orgánicos carbonizados de una planta de tratamiento de aguas residuales para el mejoramiento de suelos. In Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología–APANAC (pp. 292-299).
- Sani, MNH, Hasan, M., Uddain, J. y Subramaniam, S. (2020). Impacto de la aplicación de *Trichoderma* y biocarbón en el crecimiento, la productividad y la calidad nutricional del tomate bajo fertilización NPK reducida. *Anales de Ciencias Agrícolas*, 65 (1), 107-115.
- Saxena, J., Rawat, J., & Kumar, R. (2017). Conversion of biomass waste into biochar and the effect on mung bean crop production. *CLEAN–Soil, Air, Water*, 45(7), 1501020.
- 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.
- Sepúlveda-Cadavid, C., Romero, J. H., Torres, M., Becerra-Agudelo, E., & López, J. E. (2021). Evaluation of a biochar-based slow-release P fertilizer to improve *Spinacia oleracea* P use, yield, and nutritional quality. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(4), 2980-2992.
- Schmidt, H. P., Pandit, B. H., Cornelissen, G., & Kammann, C. I. (2017). Biochar-based fertilization with liquid nutrient enrichment: 21 field trials covering 13 crop species in Nepal. *Land Degradation & Development*, 28(8), 2324-2342.

- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2012). Subíndice de Uso Sustentable del Suelo –Metodología de Cálculo. FAO y Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación de México.
- Shin, J., Park, D., Hong, S., Jeong, C., Kim, H., & Chung, W. (2021). Influence of activated biochar pellet fertilizer application on greenhouse gas emissions and carbon sequestration in rice (*Oryza sativa* L.) production. *Environmental Pollution*, 285, 117457.
- Solaiman, Z. M., Blackwell, P., Abbott, L. K., & Storer, P. (2010). Direct and residual effect of biochar application on mycorrhizal root colonisation, growth and nutrition of wheat. *Soil Research*, 48(7), 546-554.
- Song, C., Shan, S., Yang, C., Zhang, C., Zhou, X., Ma, Q., ... & Cao, Y. (2020). The comparison of dissolved organic matter in hydrochars and biochars from pig manure. *Science of The Total Environment*, 720, 137423.
- Sun, D., Hale, L., Kar, G., Soolanayakanahally, R., & Adl, S. (2018). Phosphorus recovery and reuse by pyrolysis: Applications for agriculture and environment. *Chemosphere*, 194, 682-691.
- Tobasura A. I., Obando M. F. H., Moreno Ch. F. A., Morales L., C. S., & Henao C., A. M. (2015). De La Conservación Del Suelo Al Cuidado. *Ambiente & Sociedade*, 18, 121-136.
- Tam, P. T. G., & McKay, A. (2015). Opportunities for expansion of peanut cultivation in south-central coastal Vietnam. *Sustainable and profitable crop and livestock systems in south-central coastal Vietnam*, ed. by S. Mann, MC Webb and RW Bell. *ACIAR Proceedings*, (143), 120-126.
- Tan, X., Liu, Y., Zeng, G., Wang, X., Hu, X., Gu, Y., & Yang, Z. (2015). Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions. *Chemosphere*, 125, 70-85.
- Tonolli, A. J. (2019). Propuesta metodológica para la obtención de indicadores de sustentabilidad de agroecosistemas desde un enfoque multidimensional y sistémico. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*, 51(2), 381-399.
- Torres R. L. G., Zamudio S. A. M. (2018). Adsorción de Pb (II) en biocarbones de cuesco de palma de aceite (Tesis de grado). Universidad Jorge Tadeo Lozano.

- UNICEF. (2012). Estado mundial de la infancia 2012: Las niñas y los niños en un mundo urbano. UNICEF.
- Uroić Štefanko, A., & Leszczynska, D. (2020). Impact of biomass source and pyrolysis parameters on physicochemical properties of biochar manufactured for innovative applications. *Frontiers in Energy Research*, 8, 138.
- United States Department of Agriculture (USDA). (1999). Guide for the evaluation of the quality and health of the soil.
- United States Department of Agriculture (USDA). (1993). Soil Survey Division, & United States. Division of Soil Survey. Soil survey manual (No. 18). US Department of Agriculture.
- Vaccari, F. P., Baronti, S., Lugato, E., Genesio, L., Castaldi, S., Fornasier, F., & Miglietta, F. (2011). Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. *European journal of agronomy*, 34(4), 231-238.
- Van Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, K. Y., Downie, A., Rust, J., ... & Cowie, A. (2010). Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and soil*, 327(1-2), 235-246.
- Vanek, S. J., & Lehmann, J. (2015). Phosphorus availability to beans via interactions between mycorrhizas and biochar. *Plant and soil*, 395(1-2), 105-123.
- Velázquez-Maldonado, J., Juárez-López, P., Anzaldo-Hernández, J., Alejo-Santiago, G., Valdez-Aguilar, L. A., Alia-Tejacal, I., López-Martínez, V., Pérez-Arias, G. A., Guillén-Sánchez, D. (2019). Concentración nutrimental de biocarbón de cascarilla de arroz. *Revista fitotecnia mexicana*, 42(2), 129-136.
- Villalta Vaca J.A., Quezada González D del C. (2014). Efecto de tres diferentes granulometrías de carbón vegetal y tensiones de humedad en el cultivo de fresa (*Fragaria vesca*), bajo invernadero en la estación experimental La Argelia (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.
- Vithanage, M., Mayakaduwa, S. S., Herath, I., Ok, Y. S., & Mohan, D. (2016). Kinetics, thermodynamics and mechanistic studies of carbofuran removal using biochars from tea waste and rice husks. *Chemosphere*, 150, 781-789.
- Wacal, C., Ogata, N., Basalirwa, D., Handa, T., Sasagawa, D., Acidri, R., Ishigaki, T., Kato, M., Masunaga, T., Yamamoto, S., & Nishihara, E. (2019). Crecimiento, rendimiento de semillas, nutrientes minerales y propiedades del suelo del sésamo

- (*Sesamum indicum* L.) influenciado por la adición de biocarbón en campos de tierras altas convertidos de arroz (*Oryza sativa*). *Agronomía*, 9 (2), 55.
- Wang, X., Li, Y., Wang, H., Wang, Y., Biswas, A., Chau, H. W., Liang, J., Zhang, F., Bai, Y., Wu, S., Chen, J., Liu, H., Yang, G., & Pulatov, A. (2022). Targeted biochar application alters physical, chemical, hydrological and thermal properties of salt-affected soils under cotton-sugarbeet intercropping. *CATENA*, 216, 106414.
- Wijitkosum, S. (2022). Biocarbón derivado de desechos agrícolas y residuos de madera para aplicaciones agrícolas y ambientales sostenibles. *Investigación Internacional de Conservación de Suelos y Aguas*, 10 (2), 335-341.
- Xiao, L., Yuan, G., Feng, L., Bi, D. y Wei, J. (2020). Propiedades del suelo y el crecimiento del trigo (*Triticum aestivum* L.) y el maíz (*Zea mays* L.) en respuesta al uso de biocarbón de caña (*Phragmites communis*) en un suelo afectado por la sal en el delta del río Amarillo. *Agricultura, ecosistemas y medio ambiente*, 303, 107124.
- Yan, S., Ren, T., Mahari, W. A. W., Feng, H., Xu, C., Yun, F., Waiho, K., Wei, Y., Lam, S. S., & Liu, G. (2022). Soil carbon supplementation: Improvement of root-surrounding soil bacterial communities, sugar and starch content in tobacco (*N. tabacum*). *Science of The Total Environment*, 802, 149835.
- Yao, Z., Xu, Q., Chen, Y., Liu, N., Li, Y., Zhang, S., Cao, W., Zhai, B., Wang, Z., Zhang, D., Adl, S., Gao, Y. (2021). Leguminous green manure enhances the soil organic nitrogen pool of cropland via disproportionate increase of nitrogen in particulate organic matter fractions. *Catena*, 207, 105574.
- Zegarra Torres, S. E. (2015). Uso de biocarbón elaborado con vísceras de pescados y lodos de lagunas de oxidación para el mejoramiento de suelos áridos del distrito de Ancón–Lima-Perú (Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
- Zhai, J., Burke, I. T., & Stewart, D. I. (2021). Beneficial management of biomass combustion ashes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151, 111555.
- Zhai, L., Cai, Z., Liu, J., Wang, H., Ren, T., Gai, X., Xi, B., & Liu, H. (2015). Short-term effects of maize residue biochar on phosphorus availability in two soils with different phosphorus sorption capacities. *Biology and Fertility of Soils*, 51(1), 113-122.

- Zhang, A., Liu, Y., Pan, G., Hussain, Q., Li, L., Zheng, J., & Zhang, X. (2012a). Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emissions from a soil organic carbon poor calcareous loamy soil from Central China Plain. *Plant and soil*, 351(1-2), 263-275.
- Zhang, A., Bian, R., Pan, G., Cui, L., Hussain, Q., Li, L., Zheng, J., Zheng, J., Zhang, X., Han, X., & Yu, X. (2012b). Effects of biochar amendment on soil quality, crop yield and greenhouse gas emission in a Chinese rice paddy: a field study of 2 consecutive rice growing cycles. *Field Crops Research*, 127, 153-160.
- Zhang, A., Cui, L., Pan, G., Li, L., Hussain, Q., Zhang, X., Zheng, J., & Crowley, D. (2010). Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China. *Agriculture, ecosystems & environment*, 139(4), 469-475.
- Zhang, M., He, L. Y., Liu, Y. S., Zhao, J. L., Zhang, J. N., Chen, J., Zhang, Q. Q., & Ying, G. G. (2020a). Variation of antibiotic resistome during commercial livestock manure composting. *Environment International*, 136, 105458.
- Zhang, Q., Song, Y., Wu, Z., Yan, X., Gunina, A., Kuzyakov, Y., & Xiong, Z. (2020b). Effects of six-year biochar amendment on soil aggregation, crop growth, and nitrogen and phosphorus use efficiencies in a rice-wheat rotation. *Journal of Cleaner Production*, 242, 118435.
- Zhang, M., Liu, Y., Wei, Q., & Gou, J. (2021). Biochar enhances the retention capacity of nitrogen fertilizer and affects the diversity of nitrifying functional microbial communities in karst soil of southwest China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 226, 112819.
- 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.

ANEXOS

ANEXO 01
MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO	PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES/INDICADOR	METODOLOGÍA
	General	General	General		
El biocarbón enriquecido para producción sostenible de sistemas de cultivo en Ucayali	¿Cómo influye el biocarbón enriquecido en la producción sostenible de sistemas de cultivos en Ucayali?	Estudiar la influencia del biocarbón enriquecido en la producción sostenible de cultivos en Ucayali.	<ul style="list-style-type: none"> • H0: La aplicación de biocarbón enriquecido, no influye en la producción sostenible de cultivos en Ucayali. • H1: La aplicación de biocarbón enriquecido, influye en la producción sostenible de cultivos en Ucayali. 	VARIABLE INDEPENDIENTE Biocarbón enriquecido Dimensión: X ₁ : Características Físicas Indicadores: <ul style="list-style-type: none"> • Humedad: % • Conductividad Eléctrica: dS/m • Dosis: t/ha Dimensión: X ₂ : Características Químicas Indicadores: <ul style="list-style-type: none"> • pH • MO: % • C: % • N: % • P: % • K: % • Ca: % 	Nivel de la investigación Explicativo Tipo de investigación Aplicada. Método de investigación Experimental. Diseño de la investigación Comprenderá un diseño experimental conocido como Diseño de sol Post-test, con grupo control. Diseño estadístico Diseño en Bloque Completamente al Azar (DBCA), compuesto por 1 control con 3 tratamientos cada uno designado en forma aleatoria con 3 réplicas. Población Maíz: 648 plantas de 12 parcelas, cada parcela albergó
	Específicos	Específicos	Específicas		
	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué características físicas y químicas muestra el biocarbón y biocarbón enriquecido? • ¿Cómo afecta la aplicación de biocarbón enriquecido a las propiedades físicas y 	<ul style="list-style-type: none"> • Caracterizar física y químicamente el biocarbón y biocarbón enriquecido. • Caracterizar físico y químicamente a los suelos antes y luego de la aplicación del biocarbón enriquecido. 	<ul style="list-style-type: none"> • H₀: La caracterización física y química del biocarbón enriquecido, indica que no posee propiedades adecuadas para su uso en la producción sostenible de cultivos en Ucayali. • H₁: La caracterización física y química del biocarbón enriquecido, indica que si posee propiedades adecuadas para su uso en la 		

	<p>químicas del suelo?</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿La aplicación de biocarbón enriquecido al suelo, promoverá el crecimiento y la producción de los cultivos de maíz y frijol caupí en forma rotativa y asociada? • ¿Qué características nutricionales muestran las semillas de maíz y frijol caupí en cultivo asociado con aplicación de biocarbón enriquecido? 	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar la fisiología, la producción, y, las características biométricas de los cultivos de maíz y frijol caupí, rotativos, y, asociados con aplicación de biocarbón enriquecido. • Caracterizar nutricionalmente las semillas de maíz y frijol caupí cultivadas en asociación, con biocarbón enriquecido. 	<p>producción sostenible de cultivos en Ucayali.</p> <ul style="list-style-type: none"> • H₀: La caracterización de los suelos antes y después de la aplicación del biocarbón enriquecido, no indicará efectos favorables en las características de los suelos. • H₁: La caracterización de los suelos antes y después de la aplicación del biocarbón enriquecido, indicará efectos favorables en las características de los suelos. • H₀: La evaluación de la fisiología, la producción, y, las características biométricas, de los cultivos de maíz y frijol caupí, rotativos, y, asociados, indicarán efectos similares con aplicación del biocarbón enriquecido. • H₁: La evaluación de la fisiología, la producción, y, las características biométricas, de los cultivos de maíz y frijol caupí, 	<ul style="list-style-type: none"> • Mg: % • Na: % • Fe: ppm • Cu: ppm • Zn: ppm • Mn: ppm • B: ppm • Pb: ppm • Cd: ppm • Cr: ppm <p>VARIABLE DEPENDIENTE Producción sostenible de sistemas de cultivo</p> <p>Dimensión: Y₁: Fisiología de las plantas de maíz y frijol caupí</p> <p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tiempo en que alcanza el 50% de inflorescencia: días • Altura de la planta: cm • Altura de mazorcas en la planta: cm • Diámetro de la mazorca: cm • Longitud de mazorcas: cm 	<p>54 plantas sembradas a un distanciamiento de 0,8 m entre hileras y 0,5 m entre filas Frijol caupí: 360 plantas de 12 parcelas, cada parcela albergó 30 plantas sembradas a un distanciamiento de 0,8 m entre hileras y 1,20 m entre filas. Las semillas serán proporcionadas por el Instituto de Innovación Agraria-INIA, oficina Pucallpa, variedades INIA 616 para e maíz, y, Ojo Negro para el frijol caupí.</p> <p>Muestra Por tratarse de una población finita, el tamaño de muestra estará determinada, por la fórmula sugerida por Murray y Larry (2005), y utilizada por Natividad (2005):</p> $n_c = \frac{(z_\alpha)^2(N)(p)(q)}{i^2(N-1) + (z_\alpha)^2(p)(q)}$ <p>donde: n_c: Número de plantas de frijol caupí N: Población de plantas de frijol caupí, 96</p>
--	--	---	---	--	---

			<p>rotativos, y, asociados, indicarán efectos diferentes con aplicación del biocarbón enriquecido.</p> <ul style="list-style-type: none"> • H₀: La caracterización nutricional de las semillas de maíz y frijol caupí, cultivados en asociación, con aplicación de biocarbón enriquecido, mostrará valores iguales de proteínas y grasas. • H₁: La caracterización nutricional de las semillas de maíz y frijol caupí, cultivados en asociación, con aplicación de biocarbón enriquecido, mostrará valores diferentes de proteínas y grasas. 	<p>Dimensión: Y₂: Producción de maíz y frijol caupí</p> <p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> • N° de mazorcas o vainas/planta: unidades • Peso de mazorca o vaina: g • Peso de grano/mazorca o vaina: g/mazorca o vaina • Masa de 100 granos: g • Rendimiento: t/ha <p>Dimensión: Y₅: Características biométricas de la semilla</p> <p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Longitud (cm) • Ancho (cm) • Espesor (cm) <p>Dimensión: Y₆: Características Nutricionales de las semillas</p> <p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Proteínas (%) • Grasas (%) 	<p>P: Probabilidad de éxito, 0,90 Q: Probabilidad de fracaso, 0,10 z_α: 0,95 = 1,96 área bajo la curva normal estandarizada i: Error permisible, 5% o 0,05</p> <p>Aplicando la formula y su respectivo factor de corrección, las muestras tienen un tamaño de 120 plantas de maíz, y, 96 de frijol caupí.</p> <p>Técnicas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Análisis documental - Observación de campo. - Observación experimental - Sistematización computarizada <p>Instrumentos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ficha bibliográfica - Guía de observación o de campo - Fichas de registro de datos y Hojas de resultados - Hojas de cálculo (Excel) y programas informáticos (STATGRAPHICS CENTURION XVI).
--	--	--	--	---	---

ANEXO 02
FICHA DE REGISTRO DE DATOS

DIMENSIÓN	ÍTEM
Características físicas del biocarbón enriquecido	Humedad: %
	Conductividad Eléctrica: dS/m
	Dosis: t/ha
Características químicas del biocarbón enriquecido	Ph
	Materia Orgánica (MO): %
	Carbono (C): %
	Nitrógeno (N): %
	P ₂ O ₅ : %
	K ₂ O: %
	CaO: %
	MgO: %
	Na: %
	Fe: ppm
	Cu: ppm
	Zn: ppm
	Mn: ppm
	B: ppm
	Pb: ppm
	Cd: ppm
Cr: ppm	
Características fisiológicas de los cultivos	Tiempo en alcanzar el 50% de Inflorescencia: días
	Altura de la planta: cm
	Altura de mazorcas en la planta: cm
	Diámetro de la mazorca: cm
	Longitud de mazorcas o vainas: cm
Producción de los cultivos	N° de mazorcas o vainas/planta: unidades
	Peso de mazorca o vaina: g
	Peso de grano/mazorca o vaina : g
	Masa de 100 granos: g
	Rendimiento: t/ha
Características biométricas de las semillas	Longitud (cm)
	Ancho (cm)
	Espesor (cm)
Características nutricionales de los granos	Proteínas (%)
	Grasas (%)

ANEXO 03

VALIDACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS POR EXPERTOS

Nombre del experto: Dr. Julio César Alegre Orihuela

Especialidad: PhD. En Ciencias del Suelo

“Calificar con 1, 2, 3 ó 4 cada ítem respecto a los criterios de relevancia, coherencia, suficiencia y claridad”

DIMENSIÓN	ÍTEM	RELEVANCIA	COHERENCIA	SUFICIENCIA	CLARIDAD
Características físicas del biocarbón enriquecido	Humedad: %	3	3	3	3
	Conductividad Eléctrica: dS/m	4	4	4	4
	Dosis: t/ha	4	4	4	4
Características químicas del biocarbón enriquecido	Ph	4	4	4	4
	Materia Orgánica (MO): %	4	4	4	4
	Carbono (C): %	4	4	4	4
	Nitrógeno (N): %	4	4	4	4
	P ₂ O ₅ : %	4	4	4	4
	K ₂ O: %	4	4	4	4
	CaO: %	4	4	4	4
	MgO: %	4	4	4	4
	Na: %	4	4	4	4
	Fe: ppm	4	4	4	4
	Cu: ppm	4	4	4	4
	Zn: ppm	4	4	4	4
	Mn: ppm	4	4	4	4
	B: ppm	4	4	4	4
	Pb: ppm	4	4	4	4
	Cd: ppm	4	4	4	4
	Cr: ppm	4	4	4	4
Características fisiológicas de los cultivos	Tiempo en alcanzar el 50% de Inflorescencia: días	4	4	4	4
	Altura de la planta: cm	4	4	4	4
	Altura de mazorcas en la planta: cm	3	3	3	3
	Diámetro de la mazorca: cm	4	4	4	4
	Longitud de mazorcas o vainas: cm	4	4	4	4
Producción de los cultivos	N° de mazorcas o vainas/planta: unidades	4	4	4	4
	Peso de mazorca o vaina: g	4	4	4	4
	Peso de grano/mazorca o vaina : g	4	4	4	4
	Masa de 100 granos: g	4	4	4	4
	Rendimiento: t/ha	4	4	4	4
Características biométricas de las semillas	Longitud (cm)	4	4	4	4
	Ancho (cm)	4	4	4	4
	Espesor (cm)	4	4	4	4
Características nutricionales de los granos	Proteínas (%)	4	4	4	4
	Grasas (%)	4	4	4	4

¿Hay alguna dimensión o ítem que no fue evaluada? SI () NO () En caso de Sí, ¿Qué dimensión o ítem falta? _____

DECISIÓN DEL EXPERTO:

El instrumento debe ser aplicado: SI (X) NO ()

Nombre del experto: Dra. Beatriz Sales Dávila

Especialidad: Dra. En Ciencias Químicas

“Calificar con 1, 2, 3 ó 4 cada ítem respecto a los criterios de relevancia, coherencia, suficiencia y claridad”

DIMENSIÓN	ÍTEM	RELEVANCIA	COHERENCIA	SUFICIENCIA	CLARIDAD
Características físicas del biocarbón enriquecido	Humedad: %	4	3	3	3
	Conductividad Eléctrica: dS/m	4	3	3	4
	Dosis: t/ha	4	4	4	4
Características químicas del biocarbón enriquecido	pH	4	4	4	4
	Materia Orgánica (MO): %	4	4	4	4
	Carbono (C): %	4	4	4	4
	Nitrógeno (N): %	4	4	4	4
	P ₂ O ₅ : %	4	4	4	4
	K ₂ O: %	4	4	4	4
	CaO: %	4	4	4	4
	MgO: %	4	4	4	4
	Na: %	4	4	4	4
	Fe: ppm	4	4	4	4
	Cu: ppm	4	4	4	4
	Zn: ppm	4	4	4	4
	Mn: ppm	4	4	4	4
	B: ppm	4	4	4	4
	Pb: ppm	3	3	4	4
	Cd: ppm	2	3	3	3
Cr: ppm	2	3	2	3	
Características fisiológicas de los cultivos	Tiempo en alcanzar el 50% de Inflorescencia: días	4	4	4	4
	Altura de la planta: cm	4	4	4	4
	Altura de mazorcas en la planta: cm	3	3	3	3
	Diámetro de la mazorca: cm	4	4	4	4
	Longitud de mazorcas o vainas: cm	4	4	4	4
Producción de los cultivos	N° de mazorcas o vainas/planta: unidades	4	4	4	4
	Peso de mazorca o vaina: g	4	4	4	4
	Peso de grano/mazorca o vaina : g	4	4	4	4
	Masa de 100 granos: g	4	4	4	4
	Rendimiento: t/ha	4	4	4	4
Características biométricas de las semillas	Longitud (cm)	4	4	4	4
	Ancho (cm)	4	4	4	4
	Espesor (cm)	4	4	4	4
Características nutricionales de los granos	Proteínas (%)	4	4	4	4
	Grasas (%)	4	4	4	4

¿Hay alguna dimensión o ítem que no fue evaluada? SI () NO () En caso de Sí, ¿Qué dimensión o ítem falta? _____

DECISIÓN DEL EXPERTO:

El instrumento debe ser aplicado: SI (X) NO ()


Dra. Beatriz Sales Dávila
 RESPONSABLE
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE
 SUELOS Y TEJIDOS VEGETALES

Nombre del experto: Dr. Edwin Miranda Ruíz

Especialidad: Dr En Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible

“Calificar con 1, 2, 3 ó 4 cada ítem respecto a los criterios de relevancia, coherencia, suficiencia y claridad”

DIMENSIÓN	ÍTEM	RELEVANCIA	COHERENCIA	SUFICIENCIA	CLARIDAD
Características físicas del biocarbón enriquecido	Humedad: %	4	3	3	3
	Conductividad Eléctrica: dS/m	4	3	3	4
	Dosis: t/ha	4	4	4	4
Características químicas del biocarbón enriquecido	pH	4	4	4	4
	Materia Orgánica (MO): %	4	4	4	4
	Carbono (C): %	4	4	4	4
	Nitrógeno (N): %	4	4	4	4
	P ₂ O ₅ : %	4	4	4	4
	K ₂ O: %	4	4	4	4
	CaO: %	4	4	4	4
	MgO: %	4	4	4	4
	Na: %	4	4	4	4
	Fe: ppm	4	4	4	4
	Cu: ppm	4	4	4	4
	Zn: ppm	4	4	4	4
	Mn: ppm	4	4	4	4
	B: ppm	4	4	4	4
	Pb: ppm	3	3	4	4
	Cd: ppm	2	3	3	3
Cr: ppm	2	3	2	3	
Características fisiológicas de los cultivos	Tiempo en alcanzar el 50% de Inflorescencia: días	4	4	4	4
	Altura de la planta: cm	4	3	4	4
	Altura de mazorcas en la planta: cm	3	3	3	3
	Diámetro de la mazorca: cm	4	4	4	4
	Longitud de mazorcas o vainas: cm	4	4	4	4
Producción de los cultivos	N° de mazorcas o vainas/planta: unidades	4	4	4	4
	Peso de mazorca o vaina: g	4	4	4	4
	Peso de grano/mazorca o vaina : g	4	4	4	4
	Masa de 100 granos: g	4	4	4	4
	Rendimiento: t/ha	4	4	4	4
Características biométricas de las semillas	Longitud (cm)	4	4	4	4
	Ancho (cm)	4	4	4	4
	Espesor (cm)	4	4	4	4
Características nutricionales de los granos	Proteínas (%)	4	4	4	4
	Grasas (%)	4	4	4	4

¿Hay alguna dimensión o ítem que no fue evaluada? SI () NO () En caso de Sí, ¿Qué dimensión o ítem falta? _____

DECISIÓN DEL EXPERTO:

El instrumento debe ser aplicado: SI (X)

NO ()

Edwin
Dr. Edwin Miranda Ruíz
Docente-UNIA- DAFAP

Nombre del experto: Dr. Juan García Ruíz

Especialidad: Dr En Ciencias Químicas

“Calificar con 1, 2, 3 ó 4 cada ítem respecto a los criterios de relevancia, coherencia, suficiencia y claridad”

DIMENSIÓN	ÍTEM	RELEVANCIA	COHERENCIA	SUFICIENCIA	CLARIDAD
Características físicas del biocarbón enriquecido	Humedad: %	4	3	3	3
	Conductividad Eléctrica: dS/m	4	4	4	4
	Dosis: t/ha	4	4	4	4
Características químicas del biocarbón enriquecido	pH	4	4	4	4
	Materia Orgánica (MO): %	4	4	4	4
	Carbono (C): %	4	4	4	4
	Nitrógeno (N): %	4	4	4	4
	P ₂ O ₅ : %	4	4	4	4
	K ₂ O: %	4	4	4	4
	CaO: %	4	4	4	4
	MgO: %	4	4	4	4
	Na: %	4	4	4	4
	Fe: ppm	4	4	4	4
	Cu: ppm	4	4	4	4
	Zn: ppm	4	4	4	4
	Mn: ppm	4	4	4	4
	B: ppm	4	4	4	4
	Pb: ppm	2	3	4	4
	Cd: ppm	3	3	3	2
Cr: ppm	2	3	2	3	
Características fisiológicas de los cultivos	Tiempo en alcanzar el 50% de Inflorescencia: días	4	4	4	4
	Altura de la planta: cm	4	4	4	4
	Altura de mazorcas en la planta: cm	3	3	3	3
	Diámetro de la mazorca: cm	4	4	4	4
	Longitud de mazorcas o vainas: cm	4	4	4	4
Producción de los cultivos	Nº de mazorcas o vainas/planta: unidades	4	4	4	4
	Peso de mazorca o vaina: g	4	4	4	4
	Peso de grano/mazorca o vaina : g	4	4	4	4
	Masa de 100 granos: g	4	4	4	4
	Rendimiento: t/ha	4	4	4	4
Características biométricas de las semillas	Longitud (cm)	4	4	4	4
	Ancho (cm)	4	4	4	4
	Espesor (cm)	4	4	4	4
Características nutricionales de los granos	Proteínas (%)	4	4	4	4
	Grasas (%)	4	4	4	4

¿Hay alguna dimensión o ítem que no fue evaluada? SI () NO () En caso de Sí, ¿Qué dimensión o ítem falta? _____

DECISIÓN DEL EXPERTO:

El instrumento debe ser aplicado: SI (X)

NO ()


 WCE 1123 03 32
 Dr. Juan García Ruíz
 DOCTOR EN CIENCIAS QUÍMICAS
 DOCENTE - IAI - UNIA

Nombre del experto: Dr. Juan López Ruíz

Especialidad: Dr. Mención en Educación

“Calificar con 1, 2, 3 ó 4 cada ítem respecto a los criterios de relevancia, coherencia, suficiencia y claridad”

DIMENSIÓN	ÍTEM	RELEVANCIA	COHERENCIA	SUFICIENCIA	CLARIDAD
Características físicas del biocarbón enriquecido	Humedad: %	4	3	3	3
	Conductividad Eléctrica: dS/m	4	4	4	4
	Dosis: t/ha	4	4	4	4
	pH	4	4	4	4
Características químicas del biocarbón enriquecido	Materia Orgánica (MO): %	4	4	4	4
	Carbono (C): %	4	4	4	4
	Nitrógeno (N): %	4	4	4	4
	P ₂ O ₅ : %	4	4	4	4
	K ₂ O: %	4	4	4	4
	CaO: %	4	4	4	4
	MgO: %	4	4	4	4
	Na: %	4	4	4	4
	Fe: ppm	4	4	4	4
	Cu: ppm	4	4	4	4
	Zn: ppm	4	4	4	4
	Mn: ppm	4	4	4	4
	B: ppm	4	4	4	4
	Pb: ppm	3	3	4	4
	Cd: ppm	3	3	3	2
	Cr: ppm	3	3	3	3
Características fisiológicas de los cultivos	Tiempo en alcanzar el 50% de Inflorescencia: días	4	4	4	4
	Altura de la planta: cm	4	4	4	4
	Altura de mazorcas en la planta: cm	4	3	4	3
	Diámetro de la mazorca: cm	4	4	4	4
	Longitud de mazorcas o vainas: cm	4	4	4	4
Producción de los cultivos	N° de mazorcas o vainas/planta: unidades	4	4	4	4
	Peso de mazorca o vaina: g	4	4	4	4
	Peso de grano/mazorca o vaina : g	4	4	4	4
	Masa de 100 granos: g	4	4	4	4
	Rendimiento: t/ha	4	4	4	4
Características biométricas de las semillas	Longitud (cm)	4	4	4	4
	Ancho (cm)	4	4	4	4
	Espesor (cm)	4	4	4	4
Características nutricionales de los granos	Proteínas (%)	4	4	4	4
	Grasas (%)	4	4	4	4

¿Hay alguna dimensión o ítem que no fue evaluada? SI () NO () En caso de Sí, ¿Qué dimensión o ítem falta? _____

DECISIÓN DEL EXPERTO:

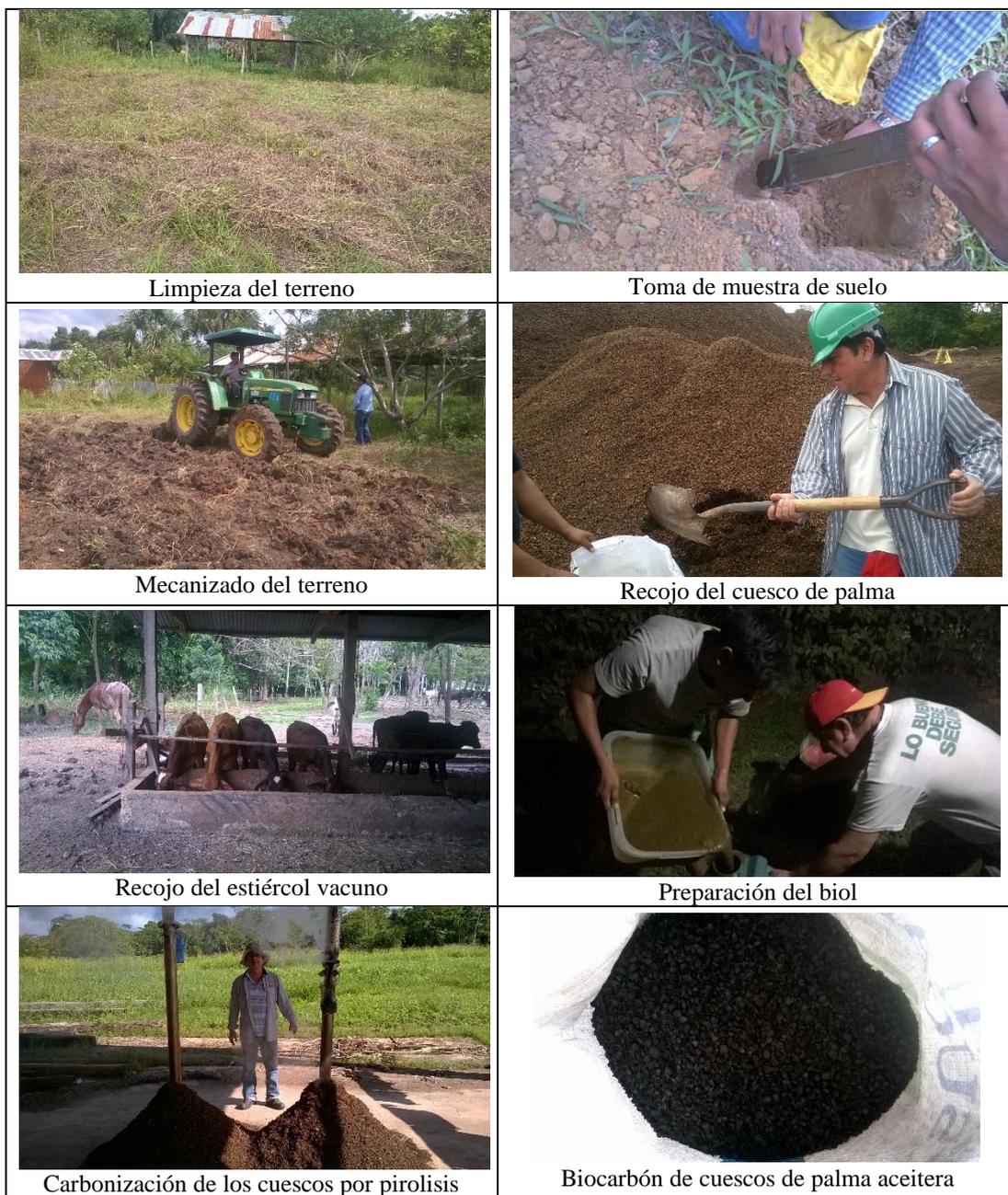
El instrumento debe ser aplicado: SI (X) NO ()



Dr. Juan López Ruíz

ANEXO 04

FOTOGRAFÍAS







Plantas de maíz en plena floración



Plantas de frijol caupí mostrando flores



Supervisión de la plantación de frijol caupí



Plantas de maíz listas para la cosecha



Evaluación y toma de datos de campo



Frijol caupí en producción



Tomando datos de la producción de frijol caupí



Plantas de maíz listas para ser cosechadas



Cultivo asociado de maíz y frijol caupí



Evaluación de las mazorcas de maíz



Vainas de frijol caupí en maduración



Evaluación de las vainas de frijol caupí según estado de madurez



Toma de datos productivos y biométricos de los granos de maíz y frijol caupí

NOTA BIOGRÁFICA

Ronald Marlon Lozano Reategui, nació en la provincia de Lamas, región San Martín, en el año 1966. Cursó estudios primarios, y, hasta el segundo año de secundaria en la ciudad de Lamas, finalizó sus estudios secundarios, en la ciudad de Tarapoto, provincia de San Martín, región San Martín. Su bachillerato en Ciencias Ingeniería Agroindustrial, y, título profesional de Ingeniero Agroindustrial, los realizó en la Universidad Nacional de San Martín de Tarapoto. Obtuvo la Maestría en Agroecología, con mención en Gestión Ambiental, en la Universidad Nacional Agraria de la Selva-UNAS, de Tingo María, así mismo, realizó estudios de Doctorado en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, en la Universidad Nacional Hermilio Valdizán-UNHEVAL de Huánuco.

En diciembre del 2005 a marzo del 2007, trabajó como docente contratado en la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, de la UNHEVAL. Desde abril del 2007, se viene desempeñando como docente en la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, adscrita a la Facultad de Ingeniería y Ciencias Ambientales, de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia-UNIA de Pucallpa, región Ucayali. Actualmente tiene la categoría de Docente Asociado, ordinario, a Tiempo Completo. Ha recibido, un Reconocimiento de la Alcaldía del distrito de Amarilis, provincia y región Huánuco, por su notable trayectoria Profesional y magnífica participación como Ponente del XVI Congreso Nacional de Estudiantes de Ingeniería Agroindustrial (CONEIA HUÁNUCO 2015), según Resolución de Alcaldía N° 535-2015-MDA-A (setiembre 2015).

Lozano Reátegui, ha desarrollado proyectos de investigación como:

- *“Uso de biocarbón de cáscaras de semilla de palma aceitera enriquecido en té de estiércol para mejorar suelos sobrepastoreados-Ucayali 2016”.*
- *“Remoción de metales de la laguna Yarinacocha con carbón activado de mazorcas de cacao”, en el 2016.*
- *“Producción de frijol caupí (Vigna unguiculata), guaba (Inga edulis C. Mart) y hauyruro (Ormosia schumkei) en suelos recuperados con biocarbón enriquecido en té de estiércol en la Comunidad nativa de San Francisco-Yarinacocha”, en el 2019-2020.*



Huánuco – Perú

ESCUELA DE POSGRADO

Campus Universitario, Pabellón V "A" 2do. Piso – Cayhuayna
 Teléfono 514760 -Pág. Web. www.posgrado.unheval.edu.pe



ACTA DE DEFENSA DE TESIS DE DOCTOR

En la Plataforma Microsoft Teams de la Escuela de Posgrado; siendo las **19:30h**, del día viernes **31 DE MARZO DE 2023**; el aspirante al **Grado de Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible**, **Don Ronald Marlon LOZANO REATEGUI**, procedió al acto de Defensa de su Tesis titulado: **"EL BIOCARBÓN ENRIQUECIDO PARA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE SISTEMAS DE CULTIVOS EN UCAYALI"** ante los miembros del Jurado de Tesis señores:

Dr. Amancio Ricardo ROJAS COTRINA	Presidente
Dr. Ruben Victor LIMAYLLA JURADO	Secretario
Dr. Jorge Ruben HILARIO CARDENAS	Vocal
Dr. Pedro David CORDOVA TRUJILLO	Vocal
Dra. Lilia Lucy CAMPOS CORNEJO	Vocal

Asesor (a) de tesis: Dr. Italo Wile ALEJOS PATIÑO (Resolución N° 02277-2018-UNHEVAL/EPG-D)

Respondiendo las preguntas formuladas por los miembros del Jurado y público asistente.

Concluido el acto de defensa, cada miembro del Jurado procedió a la evaluación del aspirante a Doctor, teniendo presente los criterios siguientes:

- Presentación personal.
- Exposición: el problema a resolver, hipótesis, objetivos, resultados, conclusiones, los aportes, contribución a la ciencia y solución a un problema social y recomendaciones.
- Grado de convicción y sustento bibliográfico utilizados para las respuestas a las interrogantes del Jurado y público asistente.
- Dicción y dominio de escenario.

Así mismo, el Jurado planteó a la tesis **las observaciones** siguientes:

.....

Obteniendo en consecuencia el Doctorando la Nota de..... Dieciseis (16)
 Equivalente a Bueno, por lo que se declara Aprobado
 (Aprobado o desaprobado)

Los miembros del Jurado firman la presente **ACTA** en señal de conformidad, en Huánuco, siendo las 21:45 horas del 31 de marzo de 2023.

.....
PRESIDENTE
 DNI N° 07025628

.....
VOCAL
 DNI N° 07230761

.....
SECRETARIO
 DNI N° 22424346

.....
VOCAL
 DNI N° 22421702

Legenda:
 19 a 20: Excelente
 17 a 18: Muy Bueno
 14 a 16: Bueno

(Resolución N° 0824-2022-UNHEVAL/EPG-D)



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN



ESCUELA DE POSGRADO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El que suscribe:

Dr. Amancio Ricardo Rojas Cotrina

HACE CONSTAR:

Que, la tesis titulada: **“EL BIOCARBÓN ENRIQUECIDO PARA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE SISTEMAS DE CULTIVOS EN UCAYALI”**, realizado por el Doctorando en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, **Ronald Marlon LOZANO REATEGUI**, cuenta con un **índice de similitud del 16%**, verificable en el Reporte de Originalidad del software Turnitin. Luego del análisis se concluye que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio; por lo expuesto, la Tesis cumple con las normas para el uso de citas y referencias, además de no superar el 20,0% establecido en el Art. 233° del Reglamento General de la Escuela de Posgrado Modificado de la UNHEVAL (Resolución Consejo Universitario N° 0720-2021-UNHEVAL, del 29.NOV.2021).

Cayhuayna, 10 de marzo de 2023.



Dr. Amancio Ricardo Rojas Cotrina
DIRECTOR DE LA ESCUELA DE POSGRADO

NOMBRE DEL TRABAJO

EL BIOCARBÓN ENRIQUECIDO PARA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE SISTEMAS DE CULTIVOS EN UCAYALI

AUTOR

RONALD MARLON LOZANO REATEGUI

RECuento DE PALABRAS

36645 Words

RECuento DE CARACTERES

188280 Characters

RECuento DE PÁGINAS

125 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

556.2KB

FECHA DE ENTREGA

Mar 9, 2023 12:08 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Mar 9, 2023 12:10 PM GMT-5

● **16% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base c

- 15% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossr

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)



AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DIGITAL Y DECLARACIÓN JURADA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR UN GRADO ACADÉMICO O TÍTULO PROFESIONAL

1. Autorización de Publicación: (Marque con una "X")

Pregrado		Segunda Especialidad		Posgrado:	Maestría		Doctorado	X
-----------------	--	-----------------------------	--	------------------	----------	--	-----------	---

Pregrado (tal y como está registrado en **SUNEDU**)

Facultad	
Escuela Profesional	
Carrera Profesional	
Grado que otorga	
Título que otorga	

Segunda especialidad (tal y como está registrado en **SUNEDU**)

Facultad	
Nombre del programa	
Título que Otorga	

Posgrado (tal y como está registrado en **SUNEDU**)

Nombre del Programa de estudio	MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE
Grado que otorga	DOCTOR EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

2. Datos del Autor(es): (Ingrese todos los **datos** requeridos **completos**)

Apellidos y Nombres:	LOZANO REATEGUI, RONALD MARLON							
Tipo de Documento:	DNI	X	Pasaporte		C.E.		Nro. de Celular:	961689171
Nro. de Documento:	01060952					Correo Electrónico:	rodmarlon2166@gmail.com	

Apellidos y Nombres:								
Tipo de Documento:	DNI		Pasaporte		C.E.		Nro. de Celular:	
Nro. de Documento:						Correo Electrónico:		

Apellidos y Nombres:								
Tipo de Documento:	DNI		Pasaporte		C.E.		Nro. de Celular:	
Nro. de Documento:						Correo Electrónico:		

3. Datos del Asesor: (Ingrese todos los **datos** requeridos **completos según DNI**, no es necesario indicar el Grado Académico del Asesor)

¿El Trabajo de Investigación cuenta con un Asesor?: (marque con una "X" en el recuadro del costado, según corresponda)	SI	X	NO					
Apellidos y Nombres:	ALEJOS PATIÑO, ITALO WILE			ORCID ID:	0000-0002-2549-5623			
Tipo de Documento:	DNI	X	Pasaporte		C.E.		Nro. de documento:	19924672

4. Datos del Jurado calificador: (Ingrese solamente los **Apellidos y Nombres completos según DNI**, no es necesario indicar el Grado Académico del Jurado)

Presidente:	ROJAS COTRINA, AMANCIO RICARDO
Secretario:	LIMAYLLA JURADO, RUBEN
Vocal:	HILARIO CARDENAS, JORGE RUBEN
Vocal:	CORDOVA TRUJILLO, PEDRO DAVID
Vocal:	CAMPOS CORNEJO, LILIA LUCY
Accesitario	


5. Declaración Jurada: (Ingrese todos los **datos** requeridos **completos**)

a) Soy Autor (a) (es) del Trabajo de Investigación Titulado: (Ingrese el título tal y como está registrado en el Acta de Sustentación)
EL BIOCARBÓN ENRIQUECIDO PARA LA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE SISTEMAS DE CULTIVOS EN UCAVALI
b) El Trabajo de Investigación fue sustentado para optar el Grado Académico ó Título Profesional de: (tal y como está registrado en SUNEDU)
DOCTOR EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE
c) El Trabajo de investigación no contiene plagio (ninguna frase completa o párrafo del documento corresponde a otro autor sin haber sido citado previamente), ni total ni parcial, para lo cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias.
d) El trabajo de investigación presentado no atenta contra derechos de terceros.
e) El trabajo de investigación no ha sido publicado, ni presentado anteriormente para obtener algún Grado Académico o Título profesional.
f) Los datos presentados en los resultados (tablas, gráficos, textos) no han sido falsificados, ni presentados sin citar la fuente.
g) Los archivos digitales que entrego contienen la versión final del documento sustentado y aprobado por el jurado.
h) Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a la Universidad Nacional Hermilio Valdizán (en adelante LA UNIVERSIDAD), cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido del Trabajo de Investigación, así como por los derechos de la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y frente a terceros de cualquier daño que pudiera ocasionar a LA UNIVERSIDAD o a terceros, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar causas en la tesis presentada, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para LA UNIVERSIDAD en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido del trabajo de investigación. De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán.

6. Datos del Documento Digital a Publicar: (Ingrese todos los **datos** requeridos **completos**)

Ingrese solo el año en el que sustentó su Trabajo de Investigación: (Verifique la Información en el Acta de Sustentación)			2023		
Modalidad de obtención del Grado Académico o Título Profesional: (Marque con X según Ley Universitaria con la que inició sus estudios)	Tesis	X	Tesis Formato Artículo		Tesis Formato Patente de Invención
	Trabajo de Investigación		Trabajo de Suficiencia Profesional		Tesis Formato Libro, revisado por Pares Externos
	Trabajo Académico		Otros (especifique modalidad)		
Palabras Clave: (solo se requieren 3 palabras)	PIRÓLISIS	FERMENTACIÓN ANAERÓBICA	CULTIVO ROTATIVO		
Tipo de Acceso: (Marque con X según corresponda)	Acceso Abierto		Condición Cerrada (*)		
	Con Periodo de Embargo (*)		Fecha de Fin de Embargo:		

¿El Trabajo de Investigación, fue realizado en el marco de una Agencia Patrocinadora? (ya sea por financiamientos de proyectos, esquema financiero, beca, subvención u otras; marcar con una "X" en el recuadro del costado según corresponda):	SI	X	NO
Información de la Agencia Patrocinadora:	INSTITUTO DE LA PEQUEÑA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE - IPPS, ADSCRITO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA-LIMA		

El trabajo de investigación en digital y físico tienen los mismos registros del presente documento como son: Denominación del programa Académico, Denominación del Grado Académico o Título profesional, Nombres y Apellidos del autor, Asesor y Jurado calificador tal y como figura en el Documento de Identidad, Título completo del Trabajo de Investigación y Modalidad de Obtención del Grado Académico o Título Profesional según la Ley Universitaria con la que se inició los estudios.



7. Autorización de Publicación Digital:

A través de la presente. Autorizo de manera gratuita a la Universidad Nacional Hermilio Valdizán a publicar la versión electrónica de este Trabajo de Investigación en su Biblioteca Virtual, Portal Web, Repositorio Institucional y Base de Datos académica, por plazo indefinido, consintiendo que con dicha autorización cualquier tercero podrá acceder a dichas páginas de manera gratuita pudiendo revisarla, imprimirla o grabarla siempre y cuando se respete la autoría y sea citada correctamente. Se autoriza cambiar el contenido de forma, más no de fondo, para propósitos de estandarización de formatos, como también establecer los metadatos correspondientes.

Firma:			
Apellidos y Nombres:	LOZANO REATEGUI, RONALD MARLON		Huella Digital
DNI:	01060952		
Firma:			
Apellidos y Nombres:			Huella Digital
DNI:			
Firma:			
Apellidos y Nombres:			Huella Digital
DNI:			
Fecha: 04/09/2023			

Nota:

- ✓ No modificar los textos preestablecidos, conservar la estructura del documento.
- ✓ Marque con una X en el recuadro que corresponde.
- ✓ Llenar este formato de forma digital, con tipo de letra **calibri**, **tamaño de fuente 09**, manteniendo la alineación del texto que observa en el modelo, sin errores gramaticales (*recuerde las mayúsculas también se tildan si corresponde*).
- ✓ La información que escriba en este formato debe coincidir con la información registrada en los demás archivos y/o formatos que presente, tales como: DNI, Acta de Sustentación, Trabajo de Investigación (PDF) y Declaración Jurada.
- ✓ Cada uno de los datos requeridos en este formato, es de carácter obligatorio según corresponda.