



Artículo

Uso de biochar para el cultivo de canonigo (*Valerianella locusta*) en la Estacion Experimental Patacamaya

Use of biochar for the crop of canonigo (*Valerianella locusta*) at the Patacamaya Experimental Station

Medardo Wilfredo Blanco Villacorta, José Manuel Quispe Patzi

RESUMEN:

Las problemáticas ambientales han mostrado la necesidad de innovar con nuevas alternativas de producción agrícola. Métodos que no influyan de forma negativa en el medio ambiente, por lo cual el uso de bioinsumos para la producción agrícola está tomando fuerza en la producción agrícola. Es muy reciente el uso del biochar como insumo mejorador de suelos, por mostrar múltiples mejoras tanto en características físicas y químicas. En el presente estudio se evaluó el efecto que tiene el biochar sobre el cultivo del canonigo. Se obtuvo el biochar de forma artesanal, usando un horno pequeño, para demostrar que se puede obtener el carbón de forma más fácil y factible para el productor. Para el estudio se utilizó semilla certificada de Canonigo, sembrados en golpe, en una densidad de 10 cm. en una unidad experimental de 1 m², en un total de 16 unidades experimentales, donde se utilizó un modelo de diseño de bloques al azar. Se investigaron 4 tratamientos con 4 bloques ordenados al azar. Tratamiento testigo (sustrato sin biochar), tratamiento 1 (sustrato con 2% de biochar) tratamiento 2 (sustrato con 4% de biochar), tratamiento 3 (sustrato con 6% de biochar). Con el tratamiento 2 se obtuvo los mejores resultados en el cultivo como en el suelo. Lo que se recomienda aplicar el biochar calculando el 2% del volumen de la capa arable del suelo. Se concluye indicando que la aplicación de biochar al suelo trae múltiples beneficios tanto para el cultivo como para el suelo. Siendo este último el más beneficiado, mejorando las características químicas como físicas, mejoró su disponibilidad de carbono orgánico, lo que demuestra que el Biochar fija carbón al suelo de manera más estable, Característica muy importante ambientalmente.

PALABRAS CLAVE:

Biochar, Canonigo, *Valerianella locusta*, producción orgánica.

ABSTRACT:

Environmental problems have shown the need to innovate with new alternatives for agricultural production. Methods that do not negatively influence the environment, for which the use of bio-inputs for agricultural production is gaining strength in agricultural production. The use of biochar as a soil improvement input is very recent, as it shows multiple improvements in both physical and chemical characteristics. In the present study, the effect that biochar has on the lamb's lettuce crop was evaluated. Biochar was obtained in an artisanal way, using a small oven, to demonstrate that coal can be obtained in an easier and more feasible way for the producer. For the study, certified canon seed was used, sown in blows, at a density of 10 cm. in an experimental unit of 1 m², in a total of 16 experimental units, where a random block design model was used. 4 treatments with 4 randomly ordered blocks were investigated. Control treatment (substrate without biochar), treatment 1 (substrate with 2% biochar), treatment 2 (substrate with 4% biochar), treatment 3 (substrate with 6% biochar). With treatment 2, the best results were obtained in the crop as well as in the soil. What is recommended is to apply the biochar calculating 2% of the volume of the arable layer of the soil. It concludes by indicating that the application of biochar to the soil brings multiple benefits for both the crop and the soil. Being the latter the most benefited, improving the chemical and physical characteristics, it improved its availability of organic carbon, which shows that Biochar fixes carbon to the soil in a more stable way, a very important environmental characteristic.

KEYWORDS:

Biochar, Canon, *Valerianella locusta*, organic production.

AUTORES:

Medardo Wilfredo Blanco Villacorta: Docente Investigador, Estación Experimental Patacamaya, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9266-9972>. mwblanco1@umsa.bo.

José Manuel Quispe Patzi: Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-4850-0392>. jm.fullroll@gmail.com.

DOI: [10.53287/jdcr6711wd99q](https://doi.org/10.53287/jdcr6711wd99q)

Recibido: 06/08/2022. Aprobado: 25/08/2022.



INTRODUCCIÓN

En región del Altiplano boliviano las condiciones son adversas para la producción de hortalizas, esto repercute en el bajo consumo por los habitantes, provocando deficiencias nutricionales de vitaminas y minerales que repercute en la salud de habitantes de la misma región (Blanco, 2019).

El biochar, es un material rico en carbono obtenido a partir de la combustión parcial de desechos de biomasa, es un material emergente de interés, ya que puede remediar los contaminantes y servir como tecnología de emisión negativa de carbono (Bolan et al., 2022). Su uso se constituye en una tecnología que responde a la preocupación por el cambio climático y la productividad de los alimentos, con el fin de estructurar medidas de adaptación locales e internacionales, así como para contrarrestar las repercusiones climáticas y también aumento de todo ello con el fin de anticipar acciones preventivas (Kamali et al., 2022). La aplicación de biocarbón en ecosistemas agrícolas es una estrategia viable para mitigar el cambio climático y garantizar la seguridad alimentaria (Wang et al., 2022).

El biochar es un producto pirogénico sostenible rico en C que se obtiene mediante un proceso denominado pirólisis de biomasa en un entorno limitado de O_2 o libre de O_2 (Feng et al., 2022). Se constituye en una solución a largo plazo para la gestión y reutilización de residuos agrícolas y animales (Rosa et al., 2021). Según numerosas investigaciones, el biocarbón se puede utilizar como enmienda del suelo, promoviendo el crecimiento de las plantas al suministrar nutrientes y mejorar las propiedades y la estructura fisicoquímica del suelo (Xie et al., 2022). Puede operar como un agente secuestrante de C debido a su estructura altamente aromática, lo que lo hace menos susceptible a la descomposición microbiana, por lo que puede persistir durante siglos en el suelo (Liu et al., 2022).

El canónigo (*Valerianella locusta* L. Laterr.), en nuestro medio conocida como lechuga suiza, es una verdura de hoja verde muy utilizada en ensaladas listas para comer. El valor nutricional del canónigo se debe a su alto contenido en carotenoides, compuestos fenólicos, ácido fólico, esteroides y ácidos grasos (Skrypnik et al., 2021).

Valerianella locusta L., (lechuga de cordero) es una pequeña planta anual dicotiledónea de la familia Valerianaceae. El canónigo es un comestible, muy consumido en ensaladas por su buen sabor y características dietéticas, su ciclo de crecimiento se completa en aproximadamente un mes (Długosz et al., 2017).

El objetivo de la investigación fue determinar el efecto de tres niveles de biochar en el cultivo de Canónigo (*Valerianella locusta*) bajo ambiente controlado en la Estación Experimental de Patacamaya. Con el propósito de generar información para difundir los resultados preliminares obtenidos que puedan ser aplicados como alternativa para el agricultor.

MATERIALES Y METODOS

Localización

Con el fin de determinar el efecto del biochar en el suelo y en el cultivo de canónigo, la investigación se realizó en la Estación Experimental Patacamaya, perteneciente a la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés. Ubicado en el municipio de Patacamaya, provincia Aroma del departamento de la paz. Está ubicado geográficamente entre las coordenadas: $17^{\circ} 05' - 17^{\circ} 20'$ de latitud sur, $67^{\circ} 45' - 68^{\circ} 07'$ de longitud oeste. A una altitud promedio de 3789 msnm.

Metodología

La investigación se realizó en ambiente atemperado, de 20 metros de largo y 6 metros de ancho, con techo de agro film de 400 micras de espesor. Se utilizó 16 unidades experimentales, cada uno de $1 m^2$. Se tomó estos tratamientos con el fin de determinar qué porcentaje de biochar en el suelo mejora las variables dadas en la investigación. Los porcentajes son a base de volumen.

Con fines investigativos, se tomó tales dimensiones para determinar el volumen de biochar. Se tomó 0,10 m de profundidad radicular de cultivo de Canónigo. El volumen de la unidad experimental fue de $0,10 m^3$ de sustrato, teniendo este dato se obtiene el volumen de biochar para cada tratamiento. El modelo estadístico que se optó para

la investigación es de bloques completamente al azar.

Los tratamientos son los siguientes: T0 = Canónigo sembrado bajo sustrato sin Biochar (sin biochar), T1 = Adición de 2% en base a volumen de Biochar con respecto al suelo, T2 = Adición de 4% en base a volumen de Biochar con respecto al suelo, T3 = Adición de 6% en base a volumen de Biochar con respecto al suelo.

Elaboración de biochar o biocarbón

Se obtuvo el biochar de manera artesanal, para dar un ejemplo claro a los productores que

quieran aplicar este método de producción. Se hizo el corte de material vegetal tales como troncos secos de árboles secos, también se hizo la recolecta de material residual leñoso seco de cultivos procedentes de la estación experimental como ser rastrojo de quinua, arbustos secos.

Se realizó un pequeño horno artesanal provisional, para la investigación se utilizó una cantidad importante de carbón, es por eso que se realizó esta práctica varias veces, para satisfacer la cantidad necesaria. Si bien la pirolisis, es un proceso termodinámico complejo, se puede realizar de diferentes maneras artesanales. Siempre y cuando cumpla las condiciones que se requieren.



Figura 1. Elaboración del Biochar.

También se puede obtener Biochar casero usando botes de metal, pero siempre en cuando se cumplan los requerimientos de la pirolisis (Xie et al., 2022). Hay una variedad de maneras de obtener carbón, para uso agrícola, pero con fin de dar un ejemplo verídico, se realizó el horno artesanal, que consiste en realizar un horno pequeño y sencillo, cabe recordar que para realizar esta labor se requiere de práctica.

Preparación del insumo adicional o activador

Activación del Biochar

Una vez obtenido el biochar, se preparó el caldo de humus, se utilizó producto obtenido de la estación, humus proveniente de los lumbricarios de la estación. El caldo de humus, la relación más común para preparar caldo de humus, es de 1:2 (1kg de

humus en 2 litros de agua) esto garantiza una calidad importante en el abono líquido, nutricionalmente.

La composición y calidad de la lombricomposta está en función del valor nutritivo de los desechos que consume la lombriz. Un manejo adecuado de los desechos, una mezcla bien balanceado, permite obtener un material de excelente calidad (Martínez, 2015). Su acción antibiótica aumenta la resistencia de las plantas a las plagas, enfermedades y organismos patógenos, también puede incrementar la producción de frutas, hortalizas y otros productos agrícolas (Moreno, 2015).

Preparación del caldo de humus

Una vez obtenida el caldo de humus, se procedió a preparar el biochar para uso agrícola, previo a la aplicación en el suelo. La relación

adecuada entre el carbón y el insumo adicional es de 1:1 y en este caso usaremos 1 kg de carbón con 1 L de caldo de humus (Rosa et al., 2021). También el mismo autor, menciona otras formulaciones aplicadas al biochar, entre 1,2 y 3 activadores, pero siempre y cuando sumadas tengan similar volumen que el biochar.

Preparación pre-siembra

Se procedió al preparado del suelo, para poder dar condiciones para el crecimiento adecuado del cultivo, removiendo y desmalezando el suelo. Se realizó el preparado del suelo a una profundidad de 0,10 m, esto para dar condiciones a las raíces del canónigo, para su óptimo desarrollo.

Diseño y delimitación de las unidades experimentales

Cada unidad experimental mide 1 m² de



Figura 2: aplicación del Biochar al suelo en cada unidad experimental.

Siembra

La siembra se realizó por golpe, a una profundidad el 1 cm para facilitar la germinación, a una distancia de 10 cm entre plantas, se introdujo entre 2 a 3 semillas de canónigo, que germinaron a los siete días después de la siembra.

Labores culturales

Riego

El riego se realizó tres veces por semana, para mantener el suelo en capacidad de campo y no estresar al cultivo. Con una cantidad de 4 litros por unidad experimental, y teniendo en cuenta el

superficie (0,6 m * 1,65 m) con un total de 16 unidades experimentales, el área total de la investigación es 16 m².

Aplicación de biochar al suelo

Una vez delimitados las áreas de trabajo, se preparó el sustrato. Se extrajo todo el suelo en una profundidad de 10 cm (0,10 m) para la mezcla adecuada del suelo con el biochar.

Se procedió a la mezcla con el suelo y el biochar, una vez mezclado el sustrato se introdujo a la unidad experimental.

Tomando en cuenta el volumen del sustrato preparado para la investigación, se obtuvo 0,1m³ de sustrato, este dato se usara para el cálculo de dosis de los tratamientos que se administraran en cada unidad experimental.

horario, se realizó el riego al finalizar la tarde para evitar la evaporación por altas temperaturas en el interior del ambiente.

Se usó una regadera manual para el riego. Se trató de realizar el riego lo más homogéneamente posible, para evitar un error indebido que pueda repercutir en el análisis estadístico final.

Raleo

Se realizó el raleo, en los golpes donde germinaron más de una planta de Canónigo, donde se eliminó las plantas excedentes. Esta práctica se realiza para evitar competencias entre plantas.

Control de malezas

En el área de trabajo se encontraron algunas malezas, algunos del tipo monocotiledóneas y dicotiledóneas. Malezas que afectarían el rendimiento del cultivo, entonces se procedió al retiro de las malezas.

Toma de datos

La toma de datos se realizó cada 15 días, tomando datos de las variables propuestas, con la ayuda de instrumentos de medición; flexómetro, vernier, regla. Los datos se tomaron tratando de minimizar el error que puede causar el tacto humano. Es por eso que se tomaron 10 muestras.



Figura 3: toma de datos de las variables agronómicas

Para determinar el efecto de los tratamientos, durante todo el ciclo de los cultivos se hicieron evaluaciones sobre aspectos morfológicos y de desarrollo, para lo cual se planteó evaluar las a) variables agronómicas al momento de la cosecha, que fueron altura de la planta (cm), número de hojas, longitud de hoja (cm) y ancho de hoja (mm); b) las variables de rendimiento evaluadas fueron en una cosecha, cortando la planta a la altura del cuello,

considerando el peso por planta (g) y rendimiento en (kg m^{-2}).

Cosecha

La cosecha se realizó 69 días DESPUES DE LA SIEMBRA, donde también se realizó la tercera toma de datos, donde las plantas ya obtuvieron el tamaño comercial y hojas maduras y comerciables.



Figura 4: toma de datos de las variables de rendimiento

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según los datos tomados, hubo una variación de temperaturas importantes, puesto que

las características climáticas del altiplano son áridas. Esto significa que las temperaturas máximas y mínimas son muy diferentes, eso repercutió al interior del ambiente atemperado. El Canónigo

puede soportar entre -6 y 30 °C de temperatura, pero es muy susceptible al calor, por eso se recomienda no pasar de los 20 °C. En la investigación se excedió este rango de temperatura aceptable por el cultivo, pese que se llevó a cabo en un ambiente protegido. El clima del altiplano repercutió en esta variable, que influyó en el resultado final.

Variables agronómicas

En los siguientes cuadros se observa el análisis de varianza respecto a las variables agronómicas propuestas por la investigación, cuyos datos se tomaron a los 69 días después de la siembra.

Tabla 1. Variables agronómicas

Tratamiento	Altura de planta	Diámetro de roseta	Numero de hojas
T0	9.53 B	17.16 B	23.25 B
T1	11.65 A	20.38 A	33.25 A
T2	11.99 A	21.29 A	32.25 A
T3	11.73 A	20.69 A	30.7 A

A y B son las medias estadísticas de la prueba de Duncan al 5% El tratamiento 2 (T2) fue el mejor para todas las variables agronómicas, mientras que con el tratamiento 0 (testigo) se obtuvo los peores valores.

Según el análisis de varianza de la variable altura de planta, con un coeficiente de variabilidad de 8,44 % que indican que hubo un buen manejo de los tratamientos en estudio, muestra que no existe significancia entre los diferentes bloques, lo que indica que no es de importancia utilizar el modelo lineal DBA en el experimento, respecto a la altura de planta. Existe significancia entre tratamientos, lo que indica que uno de los tratamientos obtuvo un mayor valor en cuanto a altura de planta.

Según a la prueba de medias DUNCAN al 5% que se muestra en el cuadro, existe similitud entre los tratamientos T1, T2, T3 (sustrato con 2% de biochar, sustrato con 4% de biochar, sustrato con 6% de biochar) respectivamente. Que obtuvieron 11,65 cm, 11,99 cm, 11,73 cm. Respectivamente, en cuanto a altura de planta, pero a la vez estos difieren del tratamiento T0 (testigo) con 9,53 cm.

Según los promedios de la variable en estudio (altura de planta) muestran que los tratamientos T1, T2, T3 dieron resultados similares, pero superaron al tratamiento testigo (T0), lo cual muestra que la aplicación del biochar aumenta la

altura de diferentes cultivos, en este caso en el canónigo.

Se puede observar que en el tratamiento 2 (sustrato con 4% de biochar) se obtuvo los mejores resultados, con 11,99 cm. Lo cual se recomendaría para su aplicación.

Algunos autores han reportado aumentos en el rendimiento cuando el biochar es aplicado a los suelos de los cultivos, y en especial cuando éstos se añaden en conjunto con fertilizantes orgánicos o inorgánicos (Glaser *et al.*, 2002; Lehmann *et al.*, 2002; Yamato *et al.*, 2006; Steiner *et al.*, 2007; Chan *et al.*, 2007; Asai *et al.*, 2009; Van Zwieten *et al.*, 2010; Carter, 2013, citados por Martínez (2015). Según los resultados se han mostrado un incremento de los rendimientos, particularmente hablando de la altura de planta. Esto se ha demostrado en los resultados.

En una investigación con tres abonos orgánicos líquidos aplicados al suelo, obtuvo una altura media de 8,2 cm en el tratamiento de estiércol de vaca, esto muestra nuevamente que el biochar administrado en diferentes niveles aumenta el rendimiento de los cultivos, en este caso de la altura (Fabian, 2016).

En otra investigación se obtuvo una altura promedio de 11,26 cm, en su tratamiento de sustrato con 15% de humus de lombriz (Lucero, 2017). El humus de lombriz tiene nutrientes casi disponibles para los cultivos, pero siendo un aditivo al biochar, aumenta la disponibilidad de esos nutrientes, dando mejores rendimientos a los cultivos, eso explica el mejor resultado en la presente investigación. Por lo tanto, los resultados obtenidos fueron mejores a las demás investigaciones. Existe significancia entre tratamientos, lo que indica que uno de los tratamientos obtuvo un mayor valor en cuanto a altura de planta.

Según el análisis de varianza para la variable diámetro de roseta, con un coeficiente de variabilidad de 7,62 % que indican que hubo un buen manejo de los tratamientos en estudio, muestra que no existe significancia entre los diferentes bloques, lo que indica que no es de importancia utilizar el modelo lineal DBA en el experimento, respecto al diámetro de roseta. Existe significancia entre

tratamientos, lo que indica que uno de los tratamientos obtuvo un mayor valor en cuanto al diámetro de roseta.

Según a la prueba de medias DUNCAN al 5% que se muestra en el cuadro, existe similitud entre los tratamientos T1, T2, T3 (sustrato con 2% de biochar, sustrato con 4% de biochar, sustrato con 6% de biochar) respectivamente. Que obtuvieron 20,38 cm, 21,29 cm, 20,69 cm respectivamente de diámetro de roseta, pero a la vez estos difieren del tratamiento T0 (testigo) con 17,16 cm.

Según los promedios de la variable en estudio (diámetro de roseta) muestran que los tratamientos T1, T2, T3 dieron resultados similares, pero superaron al tratamiento testigo (T0), lo cual muestra que la aplicación del biochar aumenta el diámetro de roseta de diferentes cultivos, en este caso del canónigo.

Nuevamente podemos observar que en el tratamiento 2 se obtuvo mejores rendimientos en cuanto al diámetro de roseta. Consecuentemente se recomendaría posteriormente.

El biochar puede alterar la fertilidad del suelo por medio de un aporte directo de nutrientes (Bolan et al., 2022). Esto significa que mejora la disponibilidad de nutrientes en el suelo, esto insidioso en el rendimiento del canónigo, en cuanto a diámetro de roseta nos referimos.

Si bien, los tratamientos T1, T2, T3 (sustrato con 2% de biochar, sustrato con 4% de biochar, sustrato con 6% de biochar), obtuvieron resultados similares, el tratamiento T2 con un promedio de 21,29 cm obtuvo mejores rendimientos en cuanto a diámetro de roseta nos referimos. Por consecuente se puede recomendar posteriormente.

En otra investigación Lucero, (2017), obtuvo un promedio de 16,78 cm, en su tratamiento de sustrato con 15% de humus de lombriz. El humus de lombriz tiene nutrientes casi disponibles para los cultivos, pero siendo un aditivo al biochar, aumenta la disponibilidad de esos nutrientes, dando mejores rendimientos a los cultivos, eso explica el mejor resultado en la presente investigación.

Se obtuvo un promedio de 15,42 cm en el tratamiento con te de estiércol de cuy, en cuanto a diámetro de roseta (Fabian, 2016). En este caso también se observa una importante diferencia a favor de los tratamientos aplicados con biochar. Esto se debe a que el biochar mejora la disponibilidad de nutrientes, como también otras características del suelo, que mejoran la fertilidad y por consecuente el rendimiento de los cultivos.

Por lo tanto, el efecto del Biochar en el desarrollo de los cultivos, y en especial en el crecimiento del follaje, obtuvo resultados superiores a las demás investigaciones, por lo tanto, se recomendaría para su uso.

Según el análisis de varianza para la variable número de hojas, con un coeficiente de variabilidad de 11,16 % que indican que hubo un buen manejo de los tratamientos en estudio, muestra que no existe significancia entre los diferentes bloques, lo que indica que no influyó en los resultados el diseño de bloques al azar. Existe diferencia muy significativa entre tratamientos, lo que indica que uno de los tratamientos obtuvo un mayor valor en cuanto al número de hojas.

Según a la prueba de medias DUNCAN al 5% que se muestra en el cuadro, existe similitud entre los tratamientos T1, T2, T3 (sustrato con 2% de biochar, sustrato con 4% de biochar, sustrato con 6% de biochar) respectivamente, obtuvieron 33,25 unidades, 32,25 unidades, 30,7 unidades, respectivamente. En cuanto a número de hojas, pero a la vez estos difieren del tratamiento testigo (T0) 23,25 unidades.

Según los promedios de la variable en estudio (número de hojas) muestran que los tratamientos T1, T2, T3 dieron resultados similares, pero superaron al tratamiento testigo (T0), lo cual muestra que la aplicación del biochar aumenta la altura de diferentes cultivos, en este caso del canónigo.

Se puede observar que en el tratamiento 1 (sustrato con 2% de biochar) se obtuvo los mejores resultados, lo cual se recomendaría para su aplicación.

El biochar por lo general incrementa la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo y, por lo tanto, la retención de NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , lo que probablemente se atribuye a su elevada superficie específica (Rebolledo et al., 2016). Por lo tanto, el biochar altera e incide directamente en el rendimiento de los cultivos, particularmente hablando de número de hojas del canónigo.

Se obtuvo un resultado promedio de 38,25 hojas, en el tratamiento de sustrato con 15% de humus (Lucero, 2017). En este caso se obtuvo un resultado inferior, por lo que se debe a que el humus tiene nutrientes directamente absorbibles para los cultivos, eso insidioso en la diferencia de resultados.

Se obtuvo un promedio de 29,41 en el tratamiento con te de estiércol de cuy, en cuanto a número de hojas (Fabian, 2016). En este caso la aplicación de biochar dio mejores resultados en número de hojas, ya que al aplicarse se mejora diferentes características en el suelo que mejoran la fertilidad de los suelos y repercuten en la productividad del cultivo.

En este caso tanto los demás abonos orgánicos y el biochar obtuvieron resultados diferentes, en cuanto al número de hojas nos referimos, esto se debe a que ambos componentes actúan de diferente manera en cuanto a la variable en estudio.

Variables de rendimiento

Según el análisis de varianza de la variable peso de materia verde por planta, con un coeficiente de variabilidad de 10,48 % que indican que hubo un buen manejo de los tratamientos en estudio, muestra que hubo mucha significancia entre los diferentes bloques, lo que indica que influyo en los resultados el diseño de bloques al azar, y que tuvo incidencia en el resultado de las diferentes variables. Y que uno de los bloques obtuvo resultados diferentes. Existe diferencia significativa entre tratamientos, lo que indica que uno de los tratamientos obtuvo un mayor valor en cuanto al peso de materia verde.

Tabla 2. Variables de rendimiento

Tratamiento	Peso de materia verde por planta (g)	Peso de materia verde por metro cuadrado
T0	11.43 B	1.22 C
T1	15.25 A	1.67 B
T2	16.03 A	2.06 A
T3	15.15 A	1.64 B

A, B y C son las medias estadísticas de la prueba de Duncan al 5% El tratamiento 2 (T2) fue el mejor para todas las variables agronómicas, mientras que con el tratamiento 0 (testigo) se obtuvo los peores valores.

Según a la prueba de medias DUNCAN al 5% que se muestra en el cuadro, existe similitud entre los tratamientos T1, T2, T3 (sustrato con 2% de biochar, sustrato con 6% de biochar, sustrato con 6% de biochar) respectivamente, obtuvieron 15,25 g, 16,03 g, 15,15 g en cuanto a peso de materia verde, pero a la vez estos difieren del tratamiento T0 (testigo) que obtuvo 15,25 g.

Según los promedios de la variable en estudio (peso de materia verde) muestran que los tratamientos T1, T2, T3 dieron resultados similares, pero superaron al tratamiento testigo (T0), lo cual muestra que la aplicación del Biochar aumenta el rendimiento del cultivo del canónigo en cuanto al peso de materia verde.

Si bien los tratamientos T1, T2, T3 tienen similar resultado en cuanto a peso de materia verde, el tratamiento 2 tiene un promedio de 16,03 g, lo cual se recomendaría para su aplicación.

Los cambios del biochar sobre el pH y las condiciones redox del suelo, así como sobre la actividad biológica del suelo también pueden aumentar la disponibilidad de nutrientes para la planta (Kamali et al., 2022). Estas bondades que cuenta el biochar, inciden en las características del suelo, que repercuten en la producción de cultivos, particularmente en este caso en el canónigo.

Se logró un resultado promedio de 6,11 g, en el tratamiento de sustrato con 15% de humus (Lucero, 2017). En este caso el tratamiento con biochar obtuvo mejores resultados, lo cual indica que el caldo de humus asociado con el biochar puede tener nutrientes más disponibles para los cultivos que luego incidan en la producción.

Por otro lado, se obtuvo un promedio de 2,02 g en el tratamiento de estiércol de cuy (Fabian, 2016), este resultado fue inferior al resultado obtenido por el tratamiento aplicados con biochar, lo que muestra la gran capacidad mejoradora de este insumo en la productividad.

Se puede notar un resultado superior en cuanto a otros abonos orgánicos, esto se debe a los múltiples beneficios que tiene el biochar en el suelo, mejorando las diferentes características físico-químicas en el suelo. Por lo cual se recomendaría para su aplicación tomando en cuenta que la comercialización del canónigo es mediante el peso de materia verde.

Según el análisis de varianza de la variable peso de materia verde por metro cuadrado, con un coeficiente de variabilidad de 6,41 % que indican que hubo un buen manejo de los tratamientos en estudio, muestra que hubo significancia entre los diferentes bloques, lo que indica que influyo en los resultados el diseño de bloques al azar. Por lo tanto, el modelo y diseño experimental fue acertada para el ambiente donde se realizó el experimento.

Existe diferencia significativa entre tratamientos, lo que indica que uno de los tratamientos obtuvo un mayor valor en cuanto a peso de materia verde por metro cuadrado.

Según la prueba de medias DUNCAN al 5% que se muestra en el cuadro, existe similitud entre los tratamientos T1, T3 (sustrato con 2% de biochar, sustrato con 6% de biochar) respectivamente, obtuvieron 1,67 kg/m² y 1,64 kg/m². En cuanto a peso de materia verde por metro cuadrado, pero a la

vez estos difieren del tratamiento T0 (testigo) con el menor promedio de rendimiento de materia verde por metro cuadrado. Y el T2 obtuvo el mayor resultado en cuanto a la variable en estudio hablamos, lo cual se puede recomendar en un futuro.

Algunas evidencias muestran que el biochar funciona como portador de microorganismos, por lo que su adición al suelo puede incrementar la población de hongos micorrízicos y los niveles de infección por Rhizobium siendo por ello incorporado a los trabajos de bioremediación de suelos (Rebolledo et al., 2016). Teniendo estos beneficios en los microorganismos al ser aplicados al suelo, el biochar aumenta la actividad microbiológica del suelo, y esto incide directamente con la disponibilidad de nutrientes.

Siendo un material poroso, donde se alojan los microorganismos benéficos, proporcionando un ambiente adecuado para que los organismos desarrollen actividades biológicas, así teniendo una dinámica saludable y flujo normal bioquímica en el suelo.

Por otro lado, se obtuvo un resultado promedio de 2,570 kg/m², en el tratamiento de sustrato con 15% de humus (Lucero, 2017). En este caso el tratamiento con biochar obtuvo resultados menores, puesto que el humus de lombriz presenta en su composición nutriente disponible para los cultivos.

Por lo tanto, en caso de esta variable, el humus de lombriz obtuvo mejores resultados, por lo que se recomendaría para su aplicación.

Efecto en las características físicas y químicas del suelo aplicando Biochar

Tabla 3: Caracterización física del suelo aplicado con biochar

Parámetro	Método	Unidades	T0	T1	T2	T3
Arena	Bouyucos	%	52	55	56	59
Limo	Bouyucos	%	25	23	22	19
Arcilla	Bouyucos	%	22	22	22	22
Clase textural	Bouyucos	-	FYA	FYA	FYA	FA

Arena, limo y arcilla, las partículas principales del suelo. Su porcentaje determina su clase textural

Según muestra en la tabla 3, el tratamiento T3 (sustrato con 6% de biochar) obtuvo una textura franco arenoso, al final de la investigación, a diferencia de los tratamientos T0, T1, T2 (sustrato sin

biochar, sustrato con 2% de biochar, sustrato con 4% de biochar,) que obtuvieron una textura franca arcillo limoso.

La incorporación de biochar al suelo puede alterar sus propiedades físicas tales como la textura, la estructura, la distribución del tamaño de poro, el área superficial total, y la densidad aparente, con repercusión en la aireación, capacidad de retención de humedad, crecimiento de las plantas y facilidad de laboreo del suelo (Rebolledo et al., 2016). Estos efectos alteraron la textura del tratamiento T3, que se aplicó 6% de biochar respecto al volumen de la

capa arable, pero no altero la textura de los tratamientos T1, T2 que son tratamientos que se aplicó biochar.

Este resultado demuestra que cuando se aplica biochar en grandes cantidades, se puede alterar características físicas del suelo, lo que no ocurre cuando se aplica en pequeñas cantidades.

Caracterización química de las muestras de suelo de los diferentes tratamientos

Tabla 4: Análisis de las principales características químicas de las diferentes muestras de suelos de los tratamientos en estudio.

Parámetro	Método	Unidades	T0	T1	T2	T3
pH en agua 1:5	Potenciometría	-	8.42	8.21	8.1	8.16
CE 1:5	Conductancia	dS/m	1.045	1.076	1.096	1.056
Nitrógeno total	Kjendahl	%	0.14	0.2	0.23	0.18
Fosforo asimilable	Espectrofotometría UV	ppm	45.07	68.75	66.96	115.28
Potasio	Emisión Atómica	meq/100g	3.2	3.57	3.26	3.66
C.I.C	Volumetría	meq/100g	22.3	24.43	24.5	22.38
Carbono orgánico	Walkley black	%	0.7	2.04	2.05	1.07
Materia orgánica	Walkley black	%	3.09	4.08	4.01	3.39

Columna parámetros son las características químicas que determinan la calidad química del suelo, para determinar la fertilidad y la disponibilidad de los nutrientes.

El biochar por lo general incrementa la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo y, por lo tanto, la retención de NH₄⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, lo que probablemente se atribuye a su elevada superficie específica, alta carga superficial negativa y elevada densidad de carga, aspectos que no son frecuentemente desarrollados en los estudios sobre biochar (Rebolledo et al., 2016).

Según muestra el cuadro, en cuanto al pH, se muestra una reducción del pH, de los tratamientos que se aplicaron biocarbón. Siendo el tratamiento T2 (sustrato con 4 % de biochar) el que más redujo el pH con 8,1 seguidamente del tratamiento T1 y T3 (sustrato con 2% de biochar, sustrato con 6% de biochar) con 8,21 y 8,16 respectivamente. Todos respecto al tratamiento testigo que obtuvo un pH 8,42. Esto demuestra que la aplicación del biochar reduce el pH de los suelos.

El cuadro también muestra que la CE, también muestra diferencia en cuanto al tratamiento testigo y los tratamientos aplicados con biochar. Siendo el tratamiento T2 (sustrato con 4 % de biocarbón) que obtuvo más CE con 1,096 dS/m. seguidamente del tratamiento T1 y T3 (sustrato con

2% de biochar, sustrato con 6% de biochar) con 1,045 dS/m y 1,056 dS/m respectivamente. Todos los anteriores respecto al tratamiento testigo que obtuvo 1,045 dS/m. Siendo la CE un indicador de concentraciones de sales disueltas que facilita el paso de corriente eléctrica en el suelo, los datos mostrados muestran que el biochar en el suelo aumenta la concentración de sales disponibles en el suelo. Aunque esta no sea significativa.

También se puede observar que los macronutrientes NPK tuvieron cambios en cuanto la cantidad disponibles en el suelo.

El nitrógeno mostro un incremento en los tratamientos aplicados con biochar, siendo el tratamiento T2 (sustrato con 4 % de biochar) con 0,23 % de nitrógeno total. Seguidamente de los tratamientos T1 y T3 (sustrato con 2% de biochar, sustrato con 6% de biochar) con 0,2% y 0,18% de nitrógeno total respectivamente. Todos anteriores respectivamente al tratamiento testigo (T0) que obtuvo 0,14% de nitrógeno total. Esto demuestra que el biochar aumenta la disponibilidad de los macronutrientes, en particular del nitrógeno.

El fósforo mostró un incremento en los tratamientos aplicados con biochar, siendo el tratamiento T3 (sustrato con 6 % de biochar) con 115,28 ppm de fósforo asimilable. Seguidamente de los tratamientos T1 y T2 (sustrato con 2% de biochar, sustrato con 4% de biochar) con 68,75 ppm y 66,96 ppm de fósforo asimilable respectivamente. Todos anteriores respectivamente al tratamiento testigo (T0) que obtuvo 45,07 ppm de fósforo asimilable. Esto demuestra que el biochar aumenta de gran manera la disponibilidad de nutrientes en especial del fósforo.

El potasio también mostró un incremento en los tratamientos aplicados con biochar, siendo el tratamiento T3 (sustrato con 6 % de biochar) con 3,66 meq/100g de potasio. Seguidamente de los tratamientos T1 y T2 (sustrato con 2% de biochar, sustrato con 4% de biochar) con 3,57 meq/100g y 3,26 meq/100g respectivamente. Todos anteriores respectivamente al tratamiento testigo (T0) que obtuvo 3,2 meq/100g. Esto demuestra que el biochar aumenta la disponibilidad de nutrientes en especial del potasio.

Una variable que también mostró mejoras es el CIC (capacidad de intercambio catiónico) que es un factor importante en el estudio químico de suelos.

El tratamiento T2 (sustrato con 4 % de biochar) con 24,5 meq/100g. Seguidamente de los tratamientos T1 y T3 (sustrato con 2% de biochar, sustrato con 6 % de biochar) con 24,42 meq/100g y 22,38 meq/100g respectivamente. Todos anteriores respectivamente al tratamiento testigo (T0) que obtuvo 22,3 meq/100g. Esto demuestra que el biochar aumenta la disponibilidad de nutrientes esenciales para el desarrollo de los cultivos.

Se define al CIC como la absorción de un catión por un núcleo o micela coloidal y la liberación acompañante de uno o más iones retenidos por la micela (Chilon, 2013). El biochar por lo general incrementa la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo y, por lo tanto, la retención de NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , lo que probablemente se atribuye a su elevada superficie específica, alta carga superficial negativa y elevada densidad de carga, aspectos que no son frecuentemente desarrollados en los estudios sobre biocarbón (Rebolledo et al., 2016).

La materia orgánica y el carbono orgánico también sufrieron un incremento en los tratamientos aplicados con biocarbón. Siendo el tratamiento T2 (sustrato con 4 % de biochar) con los mejores resultados con 4,1 % de materia orgánica y 2,05 % de carbono orgánico. También los tratamientos T1 (sustrato con 2 % de biochar) con 4,08 % de materia orgánica y 2,04 % de carbono orgánico, y el tratamiento T3 (sustrato con 6 % de biochar) con 3,39 % de materia orgánica y 1,7 % de carbono orgánico, mejoraron el porcentaje de materia orgánica y carbono orgánico, todos los anteriores respectos con el tratamiento testigo (T0) que obtuvo 3,09 % de materia orgánica y 1,3 % de carbono orgánica. Esto quiere decir que el biochar aplicado al suelo también aumenta la cantidad de complejos coloidales en el suelo. El biochar posee alto contenido de carbono orgánico, altamente resistente a la descomposición, por lo que funciona como un almacén de formas recalcitrante de este elemento cuando aplicado al suelo como mejorador (Kamali et al., 2022).

La materia orgánica procede de compuestos orgánicos, principalmente de origen vegetal pero también animal, con diferentes etapas de descomposición gradual a causa de la transformación química, física y biológica, en donde el carbón pirogénico es la fracción más recalcitrante (Xie et al., 2022) Siendo estas características las causales que puedan aumentar la materia orgánica y el carbono orgánico, este último presentado de manera más estable, resistente a la descomposición.

Caracterización del biochar

Se caracterizó el biochar, con el fin de ver las características físicas y químicas del biochar, para así tener información detallada de los componentes que se obtuvieron al realizar la pirólisis de forma artesanal, con el fin de demostrar al productor una manera muy versátil de obtener este producto.

El biocarbón, biochar, o carbón vegetal se define como el residuo carbonoso que queda tras un proceso de pirólisis. La formación de carbón vegetal a partir de biomasa es compleja.

Tabla 5: Caracterización química del biochar

Parámetro	Método	Unidades	Resultado
Nitrógeno	Kjeldahl	%N	0.67
Fosforo	Espectrofotometria	%P	0.09
Potasio	Emision Atomica	%k	0.52
Carbono Organico	Walklet black	%	2.68
pH (1:5)	Potenciometria	-	10.03
C.E.	Conductancia	mS/cm	1.37
Humedad	Gravimetría	%	51.68
Materia seca	Gravimetria	%	48.32

Columna parámetros son las características químicas del biochar.

Estos datos que se obtuvieron son datos referenciales, si bien sabemos que el verdadero efecto del biochar esta cuando se aplica al suelo, es importante conocer los valores obtenidos en la caracterización.

CONCLUSIONES

La aplicación del biochar para la producción del Canónigo obtuvo una diferencia significativa en la variable altura de planta, con el tratamiento 2 se obtuvo 11,99 cm en promedio de altura de planta. En cuanto la variable diámetro de roseta, el tratamiento 2 muestra un promedio de 21,29 cm en diámetro de roseta. La variable número de hojas, se observó una diferencia muy significativa, donde con el tratamiento 1 se obtuvo un promedio de 33,25 hojas por planta.

En cuanto la variable peso de materia verde por planta, se obtuvo una diferencia muy significativa en cuanto al efecto de los tratamientos, tratamiento 2 con un promedio de 16,03 g de peso de materia verde. En cuanto a la variable peso de materia verde por metro cuadrado, se logró una diferencia muy significativa en cuanto a los tratamientos, con el tratamiento 2 se obtuvo un mayor promedio con 2,06 kg/m².

En cuanto a la variable física de suelos después de la aplicación del biochar, con el tratamiento 3 se obtuvo una textura FA. Siendo el único tratamiento que se alteró la textura.

Para las características químicas del suelo, con el tratamiento 2 se obtuvo un pH más cercano al neutro con un 8,1. También el mismo tratamiento un CE muy alta, con 1,096 dS/m. 0,23 % de nitrógeno total. Así como también con el tratamiento 3 se obtuvo 115,28 ppm. El mismo tratamiento obtuvo

3,66 meq/100g de potasio. En cuanto a la CIC un valor de 24,5 meq/100g como también el mismo tratamiento la materia orgánica y el carbono orgánico 2,04 y 4,08% respectivamente.

Según los análisis estadísticos de las variables tanto agronómicas, físicas y químicas del suelo, y económicas. El tratamiento 2 se recomendaría para su aplicación para la producción del canónigo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Blanco, W. (2019). *Determination of the effect of earthworm humus on arugula (Eruca sativa Mill.) at Patacamaya Experimental Station*. 6, 60–65.
- Bolan, N., Hoang, S. A., Beiyuan, J., Gupta, S., Hou, D., Karakoti, A., Joseph, S., Jung, S., Kim, K. H., Kirkham, M. B., Kua, H. W., Kumar, M., Kwon, E. E., Ok, Y. S., Perera, V., Rinklebe, J., Shaheen, S. M., Sarkar, B., Sarmah, A. K., ... Van Zwieten, L. (2022). Multifunctional applications of biochar beyond carbon storage. *International Materials Reviews*, 67(2), 150–200. <https://doi.org/10.1080/09506608.2021.1922047>
- Chilon, E. (2013). El Compost Altoandino Como Sustento De La Fertilidad Del Suelo Frente Al Cambio Climatico High-Andean Compost As Fertility Support From Soil To Climate Change. *CIENCIAGRO*, 2(4), 456–468.
- Długosz-grochowska, O., Wojciechowska, R., Kruczek, M., & Habela, A. (2017). Supplemental Lighting with LEDs Improves the Biochemical Composition of Two Valerianella locusta (L.) Cultivars. *Horticultura, Medio Ambiente y*

- Biocología*, 58(5), 441–449.
<https://doi.org/10.1007/s13580-017-0300-4>
- Fabian, V. (2016). *Efecto de tres abonos orgánicos líquidos, aplicados al suelo, en el cultivo de canónigo (Valerianella locusta), en ambientes atemperados en la ciudad de El Alto*. Universidad Mayor de San Andrés.
- Feng, Q., Chen, M., Wu, P., Zhang, X., Wang, S., Yu, Z., & Wang, B. (2022). Soil & Tillage Research Calcium alginate-biochar composite as a novel amendment for the retention and slow-release of nutrients in karst soil. *Soil & Tillage Research*, 223(July), 105495. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105495>
- Kamali, M., Sweygens, N., Al-Salem, S., Appels, L., Aminabhavi, T. M., & Dewil, R. (2022). Biochar for soil applications-sustainability aspects, challenges and future prospects. *Chemical Engineering Journal*, 428(July 2021), 131189. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.131189>
- Liu, M., Ke, X., Joseph, S., Siddique, K. H. M., Pan, G., & Solaiman, Z. M. (2022). Industrial Crops & Products Interaction of rhizobia with native AM fungi shaped biochar effect on soybean growth. *Industrial Crops & Products*, 187(PB), 115508. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115508>
- Lucero, M. (2017). *Comportamiento agronómico del cultivo de canónigo (Valerianella locusta) bajo tres niveles de humus de lombriz en ambiente atemperado*.
- Martínez, C. (2015). *Efectos de enmiendas de biochar sobre el desarrollo en Cucumis*.
- Moreno, A. (2015). Origen, Importancia y Aplicación de Vermicomposta para el Desarrollo de Especies Vegetales. *Revista Agraria -Nueva Epoca*, 7(1), 37–72. https://www.researchgate.net/publication/269107473_What_is_governance/link/548173090cf22525dcb61443/download%0Ahttp://www.econ.upf.edu/~reynal/Civilwars_12December2010.pdf%0Ahttps://think-asia.org/handle/11540/8282%0Ahttps://www.jstor.org/stable/41857625
- Rebolledo, A. E., González, G. P., Moreno, C. H., Collado, J. L., Alves, J. C., Valtierra, E., & Etchevers, J. D. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *TERRA LATINOAMERICANA*, 34(3), 367–382.
- Rosa, C., Tarqui, O., Wilfredo, M., & Villacorta, B. (2021). Uso del biochar en la producción agrícola. *Revista Estudiantil AGRO-VET*, 5, 83–87.
- Skrypnik, L., Styran, T., Savina, T., & Golubkina, N. (2021). Effect of selenium application and growth stage at harvest on hydrophilic and lipophilic antioxidants in lamb's lettuce (*Valerianella locusta* L. laterr.). *Plants*, 10(12), 2733. <https://doi.org/10.3390/plants10122733>
- Wang, Q., Yuan, J., Yang, X., Han, X., Lan, Y., & Cao, D. (2022). Soil & Tillage Research Responses of soil respiration and C sequestration efficiency to biochar amendment in maize field of Northeast China. *Soil & Tillage Research*, 223(April), 105442. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105442>
- Xie, Y., Wang, L., Li, H., Johansson, L., Carvalho, L., Thorin, E., Yu, Z., Yu, X., & Skreiberg, Ø. (2022). *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis A critical review on production, modification and utilization of biochar*. 161(November 2021). <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105405>