

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA



**IMPACTO DEL USO DE BIOCARBÓN COMO ESTABILIZADOR DE GUANO DE
GALLINA PONEDORA EN LA CALIDAD DE GUANO Y EMISIÓN DE GASES**

POR

DANIEL SEBASTIÁN SEPÚLVEDA MÉNDEZ

**MEMORIA PRESENTADA A LA
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO.**

CHILLÁN - CHILE

2024

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA

**IMPACTO DEL USO DE BIOCARBÓN COMO ESTABILIZADOR DE GUANO DE
GALLINA PONEDORA EN LA CALIDAD DE GUANO Y EMISIÓN DE GASES**

POR

DANIEL SEBASTIÁN SEPÚLVEDA MÉNDEZ

**MEMORIA PRESENTADA A LA
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO.**

CHILLÁN - CHILE

2024

Aprobada por:

Profesor asociado. Pamela Williams S.
Ing. Agrónomo, Dr.

Guía

Profesor asociado. Marcelo Doussoulin G.
Ing. Agrónomo, Dr., M. Sc.

Asesor

Profesor asociado. Valeria Velasco P.
Ing. en Alimentos, Ph.D.

Asesor

Profesor asociado. Cristina Muñoz V.
Ing. Agrónoma Dr.

Asesor

Profesor asociado. Guillermo Wells M.
Ing. Agrónomo, M. Sc.

Decano

TABLA DE CONTENIDOS

	Página
Resumen	1
Summary	2
Introducción	2
Materiales y Métodos	5
Resultados y Discusión	9
Conclusión	18
Referencias.....	18

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1 Caracterización fisicoquímica biocarbón de paja de trigo y cáscara de avellana obtenido a 500°C.....	6
Tabla 2 Tratamientos considerados en el experimento con las aves de postura.....	7
Tabla 3 Variación de materia seca en el tiempo, al aplicar biocarbón de paja de trigo y cáscara de avellana europea en dieta y en guano.....	10
Tabla 4 Variación de cenizas totales en base seca en el tiempo, al aplicar biocarbón de paja de trigo y cáscara de avellana europea en dieta y guano.....	12
Tabla 5 Variación de proteína cruda del guano en el tiempo, al aplicar biocarbón de paja de trigo y cáscara de avellana europea sobre la guanera.....	14
Tabla 6 Variación de nitrógeno amoniacal en el tiempo, al aplicar biocarbón de paja de trigo y cáscara de avellana europea en dieta y en el guano.....	15

IMPACTO DEL USO DE BIOCARBÓN COMO ESTABILIZADOR DE GUANO DE GALLINA PONEDORA EN LA CALIDAD DEL GUANO Y EMISIÓN DE GASES

IMPACT OF THE USE OF BIOCHAR AS A STABILIZER OF LAYER CHICKEN MANURE ON THE QUALITY OF THE MANURE AND GAS EMISSIONS

Palabras índice adicionales: Gases, dieta, enmienda, nitrógeno amoniacal, pirólisis.

RESUMEN

El aumento de la producción de huevos ha generado preocupaciones medioambientales relacionadas con el manejo de residuos sólidos, especialmente el guano de gallinas ponedoras, que puede contaminar agua, suelo y aire. El objetivo de este estudio fue evaluar el potencial del biocarbón como estabilizador de guano en gallinas ponedoras, analizando su impacto en la calidad del guano y las emisiones de gases. Se utilizó biocarbón producido a partir de desechos agroindustriales de paja de trigo y cáscara de avellana europea mediante pirólisis lenta a 500 °C. Se realizaron pruebas con guano de aves bajo diferentes tratamientos, incluyendo la adición de biocarbón en la dieta y en el guano, y se midieron parámetros como materia seca, cenizas totales, proteína cruda y nitrógeno amoniacal. El biocarbón en la dieta y en el guano redujo las emisiones de nitrógeno amoniacal; no se observaron diferencias ($P > 0,05$) en el contenido de materia seca en el tiempo, posiblemente debido a factores ambientales como la humedad relativa; no hubo generación de metano en ninguna de las condiciones experimentales estudiadas. El tratamiento con biocarbón de paja de trigo en la dieta y sin biocarbón en el guano, presentó el contenido más bajo de nitrógeno amoniacal y se mantuvo un alto contenido de proteína cruda al final del periodo del estudio, lo cual es un indicativo de una buena retención de nitrógeno y potencial para mejorar la fertilidad del suelo.

SUMMARY

The increase in egg production has raised environmental concerns related to solid waste management, particularly chicken manure, which can contaminate water, soil, and air. The aim of this study was to evaluate the potential of biochar as a stabilizer for poultry manure by analyzing its impact on manure quality and gas emissions. Biochar was produced from agro-industrial waste of wheat straw and hazelnut shells, by slow pyrolysis at 500°C. Tests were conducted using hen manure under various treatments, including the addition of biochar to the diet and directly to the manure. Parameters such as dry matter, total ash, crude protein, and ammoniacal nitrogen content were measured. Biochar in both the diet and the manure reduced ammoniacal nitrogen emissions. There were no differences ($P>0,05$) in the dry matter variation possibly due to environmental factors such as relative humidity, and no methane production occurred under any of the experimental conditions studied. The treatment with wheat straw biochar in the diet and no biochar in the manure had the lowest ammoniacal nitrogen content and maintained a high level of crude protein at the end of the study period, indicating good nitrogen retention and potential improvement of soil fertility.

INTRODUCCIÓN

En los últimos 15 años, ha habido un aumento considerable en la investigación sobre la pirólisis de residuos orgánicos para la producción de biocarbón. Esta técnica es una práctica milenaria, llevada a cabo por los pueblos indígenas precolombinos de la selva amazónica brasileña antes de la llegada de los europeos. Para su producción, se acumulaban grandes cantidades de biomasa y restos de cerámica que luego se quemaban, dando como resultado una combustión incompleta y así la generación del biocarbón, que se incorporaba en el suelo. Estos suelos, actualmente son conocidos como "*Terra Preta do Índio*", suelos de color muy oscuro que tienen características fisicoquímicas diferentes a los suelos adyacentes en el área (Barrow, 2012; Major *et al.*, 2005). En la última década, el proceso anaeróbico para obtener biocarbón, es clasificado principalmente en tres categorías generales.

La primera categoría es la pirólisis rápida. Se trata de una técnica que se realiza a altas temperaturas y velocidades de calentamiento, generalmente entre 450-600 °C y 100 °C s⁻¹, respectivamente. El tiempo de residencia suele ser muy corto, de unos pocos segundos a varios minutos. Mediante este proceso se produce una amplia gama de productos, incluyendo gases combustibles, aceites pirolíticos y biocarbón (Trujillo *et al.*, 2015). La pirólisis de lecho fluidizado es otra técnica utilizada. Esta técnica se lleva a cabo en un reactor donde las partículas de biomasa se suspenden en un gas inerte que las hace fluir como un líquido, y se lleva a cabo típicamente a temperaturas entre 600-800 °C. El tiempo de residencia es más largo que en la pirólisis rápida, de unos pocos minutos a varias horas, y el proceso suele ser continuo. Los productos finales incluyen gas de síntesis, aceites pirolíticos y biocarbón (Faxas *et al.*, 2010). Por último, la pirólisis lenta se realiza a temperaturas más bajas que las otras dos técnicas, típicamente entre 300-500 °C. Además, las velocidades de calentamiento son más lentas, a menudo de menos de 10 °C s⁻¹. Este proceso produce principalmente biocarbón y solo una pequeña cantidad de gas y líquidos pirolíticos (Escalante *et al.*, 2016).

Una de las diversas contribuciones del biocarbón en la agricultura es retener nutrientes en el suelo para un uso óptimo por parte de las plantas, así como capturar sustancias nocivas como metales pesados y mejorar la retención de agua en el suelo (Mosharrof *et al.*, 2021).

El biocarbón como producto, favorece el uso de los residuos agropecuarios, tales como: plantas secas, biomasa de árboles, desechos de papel, de biomasa de arroz, entre otros. Lehmann y Joseph (2009) incluyen entre dichas materias primas: madera, estiércol, hojas y residuos de cultivos; mientras que Brick (2010) incorpora a éstas, camas de aves, algas, cáscaras de naranja, de nueces y lodos residuales. Existen muchas materias primas para la producción de biocarbón y sus propiedades deseadas se encuentran en función a la selección de dichas materias primas, así como del método de producción que se empleará. En teoría se puede usar cualquier tipo de biomasa, desde residuos agrícolas, forestales y de chacra, hasta los residuos domésticos e industriales (Tasneen y Shah, 2017).

Por otra parte, de acuerdo con los datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2023), la producción mundial de huevos se incrementó de aproximadamente 67 millones de toneladas en el año 2012, a más de 85 millones de toneladas en el año 2022, lo que representa un crecimiento anual promedio de alrededor del 2,7%. En cambio, en Chile la producción de huevos para consumo experimentó una expansión interanual del 9,1% en el mes de febrero del 2024, pasando de 292 millones a 319 millones de unidades aproximadamente (INE, 2024). Esto ha generado preocupación sobre los problemas medioambientales provocados por el rubro. Uno de los factores más importantes hace alusión a la generación y manejo de residuos sólidos, principalmente el guano de las aves, huevos (cáscaras y “no nacidos” en sistemas de gallinas *broiler*) y aves muertas, los cuales pueden contaminar cursos de agua superficiales y/o subterráneos, suelo y aire (Zapata *et al.*, 2015).

La principal fuente de emisión de gases en las explotaciones avícolas de postura es la pérdida de nitrógeno (N) en forma de amoníaco (NH_3), óxido nitroso (N_2O), óxidos de N (NO_x) y N molecular (N_2), los cuales, a excepción del N_2 , constituyen gases contaminantes para el medio ambiente (Santonja *et al.*, 2017). En menor medida, también se producen emisiones de partículas (PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$) y metano (CH_4) (Adell, 2014; CTL, 2009). De lo anterior, los principales gases de efecto invernadero (GEI) que se producen en los planteles avícolas de postura, son: CH_4 y N_2O . Para las gallinas ponedoras, se espera que las emisiones de CH_4 de la fermentación entérica sean insignificantes, por lo que las emisiones provienen principalmente de las áreas del estiércol almacenado que desarrollan condiciones anaeróbicas, como el centro de la pila (Fabbri *et al.*, 2007).

La cantidad de CH_4 emitida depende en mayor medida de la humedad de la materia orgánica en descomposición. El guano más húmedo tiende a emitir más CH_4 en su descomposición que el guano más seco, debido a que la humedad favorece zonas de anoxia (Naylor *et al.*, 2016).

El potencial de calentamiento global del N_2O en 100 años es 265 veces mayor que el del CO_2 (IPCC, 2014). Las emisiones de este gas provienen principalmente

de los procesos biológicos de nitrificación y desnitrificación (Signor y Cerri, 2013), formado por reacciones redox por los microorganismos (Hénault *et al.*, 2005).

El guano de ave se encuentra entre los más ricos en nutrientes y, por lo tanto, es un recurso valioso para la producción de cultivos, ya que, aumenta la materia orgánica de los mismos, generando de esta manera mejoras en los rendimientos de los cultivos producidos bajo la aplicación del guano (Keskinen *et al.*, 2020; Lebrun, *et al.*, 2022). La combinación de guano y biocarbón también mejora las propiedades del suelo, incluido el pH, la retención de agua del suelo y una mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas, lo que en conjunto promueve el crecimiento de las plantas en respuesta a las interacciones resultantes entre el guano y el biocarbón (Adekiya *et al.*, 2020).

Así como el biocarbón se combina con el guano, estudios indican que desde 1880 se utiliza el biocarbón en la alimentación de los animales y desde 1940 se utiliza en alimentos para aves de corral. Por lo general, en Suiza era común agregar biocarbón a la alimentación de los pollitos y a la comida de las gallinas ponedoras para prevenir problemas digestivos y lograr un efecto regulador sobre la digestión (Schmidt *et al.*, 2019). Uno de los pocos estudios que existe, reportaba que los contenidos de N en el estiércol de aves de corral descompuesto eran inferiores en un 20% y un 26%, en tratamientos con 2% y 4%, respectivamente, en dosis de biocarbón proveniente de un residuo verde leñoso, aplicado al alimento de las aves (Prasai *et al.*, 2018). En cambio, si el biocarbón se aplica en dosis más altas (5-15% p/p) al compostaje del guano avícola reduce las emisiones de NH_3 entre un 53% y un 89% (Rong *et al.*, 2019).

Dado que las emisiones de gases provenientes del guano de gallinas ponedoras son un tema de preocupación ambiental, esta investigación tuvo como objetivo evaluar el potencial estabilizador de guanos de gallina ponedora mediante la incorporación de biocarbón en la dieta y en el guano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de biocarbón

Biocarbón y pirólisis. Las materias primas utilizadas para la producción del biocarbón de esta investigación se obtuvieron de desechos agroindustriales,

provenientes de la Región de Ñuble (residuo de la industria cerealera, paja de trigo y residuo de la agroindustria frutal, cáscara de avellana europea). La materia prima fue sometida a proceso de pirólisis lenta, a 500°C, a lo largo de 2 horas, en equipo y dependencias de la Unidad de Desarrollo Tecnológico de la Universidad de Concepción (UDT). Los gases producidos en pirólisis fueron capturados mediante un condensador y precipitador electrostático, y no fueron considerados en el estudio. El biocarbón fue tamizado (< 1 mm) y reservado en bolsas de plástico hasta su utilización, en la dieta y sobre el guano de las aves.

Características del Biocarbón. Dentro de la caracterización fisicoquímica (Tabla 1) de los biocarbones del estudio, el pH y la conductividad fueron determinados acorde a la caracterización estándar establecida por la “International Biochar Initiative” (IBI, 2015). Para el índice de yodo, se llevó a cabo el método volumétrico del tiosulfato de sodio. El resultado fue expresado en miligramos de yodo adsorbidos en 1 g de biocarbón (Ferrer *et al.*, 2023). Utilizando vasos precipitados con agua, las muestras de biocarbón fueron preparadas en diferentes combinaciones y proporciones para observar la capacidad de retención de agua. Todos los días se registró la altura del agua en cada vaso precipitado hasta que no se presentara cambios, con ello se calculó el porcentaje de retención de agua en función de la diferencia de peso (Shafie *et al.*, 2012).

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica de biocarbón de paja de trigo y cáscara de avellana obtenido a 500°C.

Temperatura	pH	Conductividad ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Índice Yodo (mg g^{-1})	Capacidad de retención de agua (%)
Paja de trigo	8,8	76,7	130,0	158,7
Cáscara de avellana	7,0	33,4	95,8	70,5

Recolección y manejo de guano. Se utilizaron dos tipos de guanos para este estudio: el primero proveniente de aves bajo dieta estándar sin tratar, y un guano proveniente de aves bajo dieta estándar con biocarbón dietario en una dosis de

0,3%. Todas las aves estaban enjauladas, en cada jaula había 7 gallinas de donde se recolectó el guano. Cada tipo de guano recolectado, por separado, fueron fraccionados en dos partes, y se le incorporó biocarbón en el guano a una de las fracciones y otro se dejó sin biocarbón en guano, además se tuvo un control sin biocarbón en dieta y guano y otro sin biocarbón en dieta ni en guano, pero con una dosis de 0,3% de zeolita en dieta. Estos tratamientos fueron almacenados en recipientes plásticos por 133 días en tres repeticiones.

Tabla 2. Tratamientos considerados en el experimento con las aves de postura

Tratamientos	Contenido
1 (control)	Dieta y Guano sin tratar
2	Dieta sin tratar y Guano + 10% biocarbón paja de trigo
3	Dieta sin tratar y Guano + 10% biocarbón cáscaras de avellana
4	Dieta + 0,3% de zeolita y guano sin tratar
5	Dieta + 0,3% biocarbón paja de trigo y guano sin tratar
6	Dieta + 0,3% biocarbón paja de trigo y guano + 10% biocarbón paja de trigo
7	Dieta + 0,3% biocarbón cáscaras de avellana y guano sin tratar
8	Dieta + 0,3% biocarbón cáscaras de avellana y guano + 10% biocarbón cáscaras de avellana

Se mezcló mecánicamente una de las partes fraccionada, que corresponde a 400 g de guano diario aproximadamente con el 10% de su peso con biocarbón. La mezcla fue almacenada en bolsas semiabiertas hasta la acumulación de guano de 7 días, al cumplirse este período el guano de las bolsas se vació en recipientes plásticos abiertos de 25 L cada uno. En estos recipientes, se almacenó el guano por 21 días hasta su análisis químico, simulando condiciones de almacenamiento en campo (pila).

Análisis Químicos

Incubación para determinación de gases y metano. Se extrajeron 25 g de guano de los recipientes plásticos, para luego ubicarlos en frascos de vidrio adaptados para la medición de gases. Cada muestra se incubó a 25 °C (Roy y Kashem, 2014). La incubación se llevó a cabo por un total de 48 horas, haciendo muestreo de gases

a las 6, 24 y finalmente a las 48 horas. Se midió el volumen de gas total generado por la muestra utilizando un aparato de desplazamiento de agua (Fedorah y Hrudey, 1983). Además, se extrajo una muestra de gas por medio de una jeringa hermética y se guardó en un exetainer (Labco Ltd., High Wycombe, UK) para analizar la cantidad de metano que emitió la muestra de excreta, utilizando cromatografía de gases (Agilent 7890B, Agilent Technologies, Inc., Santa Clara, USA) (Suescun-Ospina *et al.*, 2022). Las mediciones se realizaron durante 4 semanas no consecutivas, siendo a los 21, 42, 77 y a los 133 días, para la medición de materia seca, cenizas totales, proteína cruda, nitrógeno amoniacal y metano.

Determinación de materia seca. La materia seca en las muestras de guano se determinó mediante el método gravimétrico. Se recolectó de cada recipiente una muestra de excreta, las cuales se guardaron separadamente en una bolsa de polietileno con cierre hermético. Para proceder, las muestras de excreta se cambiaron a una bolsa de papel Kraft y se registró su peso inicial usando una balanza analítica; Luego, las muestras fueron secadas en un horno, a 105 °C por 48 h y se registró el peso final. Con las diferencias del peso inicial y final se obtuvo el contenido de humedad retenida en cada muestra, y por diferencia, el contenido de materia seca, el cual se expresó en porcentaje (Cano-Hernández *et al.*, 2016).

Determinación de cenizas totales. La determinación del contenido de cenizas totales en las muestras de guano se realizó siguiendo el método directo AOAC 923,03 de 1990 (AOAC, 1995)

Determinación de Proteína Cruda. La determinación de la proteína cruda se llevó a cabo mediante el método de Kjeldahl, descrito en el método 955.04 de la AOAC (1990).

Determinación de nitrógeno amoniacal. Para determinar nitrógeno amoniacal se recogió una muestra de excreta de cada recipiente plástico, se almacenó en bolsas de polietileno, congeladas a -20°C hasta el análisis de N-NH₃.

Una vez descongelada la muestra, se realizó una primera centrifugación a 1.400 rpm g⁻¹ durante 10 minutos para separar el sobrenadante del material sólido. Luego se tomó una alícuota de 2,5 mL y se dispuso en un tubo Eppendorf, luego se centrifugó a 1.400 rpm g⁻¹ por 20 minutos para aclarar el extracto. Posteriormente,

se realizó una dilución de 1:40 considerando 0,25 mL de sobrenadante y 9,75 mL de agua destilada. De la dilución se tomó una alícuota de 100 μ L a la cual se le agregó 4 mL de fenol y 4 mL de hipoclorito de sodio, lo cual terminó en un compuesto de color azul, cuya absorbancia se leyó en espectrofotómetro UV visible Spectroquant® Pharo 400 a una longitud de onda de 625 nm (Grasshoff *et al.*, 1983). Las lecturas de absorbancia fueron establecidas dentro de la siguiente curva de concentración de amonio, con $R^2 = 0,9981$: $y = 0,03x + 0,0635$, donde Y representa la absorbancia medida por el espectrofotómetro y X representa la concentración de amonio en la muestra.

DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El diseño del experimento fue completamente al azar. Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANDEVA). Cuando correspondió, se realizaron pruebas de contraste con la prueba LSD de Fisher, con un nivel de significancia de $P \leq 0,05$. Para aquellos datos que no cumplieron los supuestos de ANDEVA se realizó el análisis no paramétrico prueba de Kruskal-Wallis. Estos análisis se realizaron en el software estadístico INFOSTAT.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Materia seca del guano

El tratamiento 3 (sin biocarbón en la dieta y adición de biocarbón de cáscara de avellana al guano) a los 21 días de almacenamiento registró el mayor contenido de materia seca de las muestras evaluadas (66,71%), siendo estadísticamente superior al tratamiento control. Sin embargo, con el paso del tiempo, su contenido de materia seca se equiparó con los demás tratamientos, llegando al día 133 sin diferencias significativas con el tratamiento control. No se observaron diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos a los 42 y 77 días de almacenamiento (Tabla 3). A los 77 días de almacenamiento se observó que todos los tratamientos experimentaron un incremento similar de materia seca, con relación al período anterior, pero esta diferencia no resultó estadísticamente significativa ($P > 0,05$) en comparación con los otros tratamientos para igual período de tiempo evaluado.

Tabla 3. Variación de materia seca en el tiempo, al aplicar biocarbón de paja de trigo y cáscara de avellana europea en dieta y en guano.

Tratamiento	Materia Seca (%)				
	Día 0	Día 21	Día 42	Día 77	Día 133
1	30,45	56,29 b	48,47	89,68	76,98 ab
2	30,45	51,83 ab	45,90	92,44	68,03 a
3	30,45	66,71 c	51,02	94,72	77,51 ab
4	31,34	51,74 ab	45,89	93,21	89,49 b
5	31,08	52,30 ab	43,59	93,88	87,88 b
6	31,08	51,94 ab	50,09	90,52	67,07 a
7	29,96	47,80 a	42,15	87,63	89,01 b
8	29,96	47,07 a	50,92	96,70	87,43 b
Valor-p	0,3955	0,0009	0,8029	0,5913	0,0253

1: Dieta y guano sin tratar, 2: Dieta sin tratar y guano+ 10% biocarbón paja de trigo, 3: Dieta sin tratar y Guano + 10% biocarbón cáscaras de avellana, 4: Dieta + 0,3% de zeolita y guano sin tratar, 5: Dieta + 0,3% biocarbón paja de trigo y guano sin tratar; 6: Dieta + 0,3% biocarbón paja de trigo y guano + 10% biocarbón paja de trigo, 7: Dieta + 0,3% biocarbón cáscaras de avellana y guano sin tratar; 8: Dieta + 0,3% biocarbón cáscaras de avellana y guano + 10% biocarbón cáscaras de avellana. Letras iguales en sentido vertical indican que no hay diferencias entre tratamientos.

A los 42 días de almacenamiento, se registró una disminución en el contenido de materia seca en todos los tratamientos, incluyendo el control y los tratamientos con/sin biocarbón. Este fenómeno podría atribuirse al aumento en la humedad relativa del ambiente en Chillán, que alcanzó casi el 80%. Además, se registraron precipitaciones continuas en esa fecha (MeteoChile, 2023).

En general, los tratamientos que incluyen biocarbón en la dieta (T5, T6, T7, T8) no muestran un aumento en el contenido de materia seca en comparación a los tratamientos sin biocarbón (T1, T2, T3, T4).

Los tratamientos que incorporaron biocarbón de paja de trigo o cáscara de avellana en el guano (T2, T3, T6, T8) no mostraron una respuesta clara en comparación con los tratamientos sin biocarbón en el guano (T1, T4, T5, T7). Al considerar las propiedades específicas de los biocarbones, la capacidad de retención de agua y la conductividad del biocarbón de paja de trigo que son el doble que el de cáscara de avellana, podría estar afectando la disponibilidad de agua en

el guano al captar humedad del ambiente. Esto podría explicar los valores más bajos en T2 y T6.

Es relevante considerar que, durante la evaluación en el tiempo de almacenamiento, la humedad relativa del ambiente varió entre 60% y 80%. Por lo que, a los 42 días de almacenamiento se evidenció un ligero decrecimiento en el contenido de materia seca de los guanos. Este evento coincidió con las condiciones meteorológicas observadas a entre los 77 y 133 días de almacenamiento, lo que generó fluctuaciones en los niveles de materia seca de los diferentes tratamientos. Un estudio realizado por Chai (2022) encontró que la humedad relativa puede afectar el contenido de materia seca del estiércol. En su investigación, observó que a medida que aumentaba la humedad relativa, disminuía el contenido de materia seca del estiércol. Esto sugiere que la humedad relativa tuvo influencia en los resultados obtenidos en este estudio, ya que, a un mayor porcentaje de humedad, presente tanto en el ambiente como en el guano, tiende a reducir el contenido de sólidos totales, materia orgánica y minerales del guano analizado.

Cenizas totales

En la Tabla 4 se puede apreciar que el contenido de cenizas totales al inicio del estudio (21 días de almacenamiento), no fue afectado por el tratamiento ($P > 0,05$), lo que sugiere que existe uniformidad en el contenido de cenizas totales en todos los tratamientos, los valores oscilan entre 38,01% y 46,54%.

En el día 42 de almacenamiento, se registró un aumento del contenido de cenizas totales, en particular los tratamientos 1 (sin biocarbón en la dieta, ni en el guano) y 5 (con biocarbón de paja de trigo en la dieta, pero sin biocarbón en el guano), los cuales alcanzaron valores de ceniza total de 52,74% y 55,79% respectivamente, sin presentar diferencias estadísticas entre los tratamientos. En contraste, a los 77 días de almacenamiento, se observó una diferencia marcada, con algunos tratamientos con biocarbón adicionado al guano, registrando contenidos de cenizas totales más bajos en comparación con otros, como el caso del tratamiento 8 (38,84%), tratamiento 3 (41,94%) y tratamiento 2 (43,76%) en comparación con el tratamiento 4 (64,33%) que fue significativamente superior a estos tratamientos, pero no presentó diferencias significativas con el tratamiento

1(control). En general, los resultados sugieren que la composición de las cenizas totales está sujeta a cambios significativos en respuesta a los diferentes tratamientos, entre los que se incluye presencia o ausencia de biocarbón y fuente del biocarbón, y que estos cambios pueden variar según el período de tiempo analizado.

Tabla 4. Variación de cenizas totales en base seca en el tiempo, al aplicar biocarbón de paja de trigo y cáscara de avellana europea en dieta y guano.

Tratamiento	Cenizas Totales (%)			
	Día 21	Día 42	Día 77	Día 133
1	40,75	52,74	55,08 abc	57,21 ab
2	42,25	37,90	43,76 ab	47,64 ab
3	38,01	40,82	41,94 a	41,51 a
4	39,49	31,15	64,33 c	56,72 b
5	42,64	55,80	63,86 bc	58,48 b
6	46,54	39,20	49,81 abc	53,43 ab
7	43,28	38,12	56,71 abc	52,68 ab
8	46,21	38,11	38,84 a	41,24 a
Valor-p	0,9151	0,0828	0,0041	0,0116

1: Dieta y guano sin tratar, 2: Dieta sin tratar y guano+ 10% biocarbón paja de trigo, 3: Dieta sin tratar y Guano + 10% biocarbón cáscaras de avellana, 4: Dieta + 0,3% de zeolita y guano sin tratar, 5: Dieta + 0,3% biocarbón paja de trigo y guano sin tratar; 6: Dieta + 0,3% biocarbón paja de trigo y guano + 10% biocarbón paja de trigo, 7: Dieta + 0,3% biocarbón cáscaras de avellana y guano sin tratar; 8: Dieta + 0,3% biocarbón cáscaras de avellana y guano + 10% biocarbón cáscaras de avellana. Letras iguales en sentido vertical indican que no hay diferencias entre tratamientos.

El contenido total de cenizas en el guano es una medida importante, ya que, indica la cantidad total de minerales presentes, incluyendo nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), que son esenciales para el crecimiento de las plantas (Irshad *et al.*, 2013; Komiyama *et al.*, 2013). El tratamiento 4 (sin biocarbón en la dieta ni en el guano, pero agregando zeolita en la dieta), presentó el valor más alto a los 77 días con un valor de 64,33%, posteriormente disminuyó sin mostrar diferencias significativas respecto a los demás tratamientos, a excepción que fue estadísticamente superior a los tratamientos 3 (sin biocarbón en dieta y con biocarbón de cáscara de avellana en el guano) y al tratamiento 8 (con biocarbón de

cáscara de avellana en la dieta y biocarbón de cáscara de avellana en el guano). Esto resalta que el contenido de cenizas puede ser un indicador relevante del valor nutricional del guano, pero se debe considerar otros factores al evaluar su eficacia como enmienda (Ritz & Merka, 2009). De hecho, el uso de la zeolita en la dieta facilita una mejor retención de nitrógeno, lo que favorece su aprovechamiento; asimismo, permite mejorar la digestión de las proteínas, además se ha logrado demostrar que la zeolita permite atrapar ciertos gases contaminantes en los desechos de aves, en particular el amoníaco, lo que reduce la contaminación al medio ambiente (Schneider *et al.*, 2017). De igual forma, es capaz de regular los compuestos orgánicos volátiles y los malos olores (Cai *et al.*, 2007).

Proteína cruda

Como se aprecia en la Tabla 5, a los 21 días de almacenamiento, todos los tratamientos mostraron niveles de proteína cruda bastante similares, en un rango de 12,10% a 17,43%, sin diferencias significativas entre ellos. Sin embargo, al día 42, se observó una marcada disminución promedio del 20% aproximadamente en los valores de proteína cruda en todos los tratamientos, aunque las diferencias entre ellos no fueron estadísticamente significativas. Esta tendencia cambió a los 77 días de almacenamiento, donde se evidenció una variación mayor en los niveles de proteína cruda, disminuyendo respecto al control ($P \leq 0,05$), produciéndose diferencias significativas con el Tratamiento 1 (control) y Tratamiento 7 (con biocarbón de cáscara de avellana en la dieta, pero sin biocarbón en el guano), con los demás tratamientos. Estas diferencias pueden estar relacionadas con la descomposición del guano, condiciones de almacenamiento, acumulación de nitrógeno, fuente de biocarbón o adición de biocarbón a la dieta.

Al día 77 de almacenamiento, el Tratamiento 1 (control) y el Tratamiento 7 (con biocarbón de cáscara de avellana en la dieta, pero sin biocarbón en el guano), muestran los mayores contenidos de proteína cruda, es decir, 12,94% y 13,20% respectivamente, significativamente superiores a los demás tratamientos. Finalmente, a los 133 días, los niveles de proteína cruda se mantuvieron estables y sin diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

Tabla 5. Variación de proteína cruda del guano en el tiempo, al aplicar biocarbón de paja de trigo y cáscara de avellana europea sobre la guanera.

Tratamiento	Proteína Cruda (%)			
	Día 21	Día 42	Día 77	Día 133
1	15,95	11,14	12,94 b	15,78
2	14,71	9,87	9,64 a	14,18
3	12,10	10,97	9,67 a	13,12
4	15,54	12,46	11,08 ab	14,44
5	17,43	10,27	10,31 a	12,09
6	12,82	11,48	10,12 a	16,37
7	14,50	13,25	13,20 b	13,42
8	12,99	11,80	9,47 a	12,50
Valor-p	0,0635	0,1109	0,0331	0,5470

1: Dieta y guano sin tratar, 2: Dieta sin tratar y guano+ 10% biocarbón paja de trigo, 3: Dieta sin tratar y Guano + 10% biocarbón cáscaras de avellana, 4: Dieta + 0,3% de zeolita y guano sin tratar, 5: Dieta + 0,3% biocarbón paja de trigo y guano sin tratar; 6: Dieta + 0,3% biocarbón paja de trigo y guano + 10% biocarbón paja de trigo, 7: Dieta + 0,3% biocarbón cáscaras de avellana y guano sin tratar; 8: Dieta + 0,3% biocarbón cáscaras de avellana y guano + 10% biocarbón cáscaras de avellana. Letras iguales en sentido vertical indican que no hay diferencias entre tratamientos.

Al analizar el impacto del biocarbón en el contenido de proteína cruda del guano, se evidenció un patrón distintivo en los niveles de este nutriente a lo largo tiempo. Hasta el día 42, se observó una disminución en los niveles de proteína cruda en comparación con los días iniciales. No obstante, a partir de los 77 días de almacenamiento, se registró un aumento gradual en estos niveles. Este fenómeno podría atribuirse a la actividad microbiana presente en el guano desde la etapa inicial del ensayo, específicamente a las bacterias nitrificantes que descomponen el amoníaco y lo oxidan en nitritos (NO_2^-) y luego en nitrato (NO_3^-). Estos microorganismos, aerobios por naturaleza, contrastan con los microorganismos desnitrificantes, presentes en menor medida debido a su carácter anaeróbico. Estos últimos reducen el nitrato a nitrógeno molecular (N_2) o a óxido nitroso (N_2O), formas gaseosas de nitrógeno que se liberan en la atmósfera (Pajares y Bohannon, 2016).

Es probable que, durante este periodo de tiempo, el aumento en los niveles de proteína cruda coincida con la disminución de los niveles de nitrógeno amoniacal. Además, la variación en la materia seca, especialmente en los tratamientos con

adición de biocarbón al guano, mostró una menor cantidad en el último período de medición. Este fenómeno se puede atribuir a la propiedad de absorción del biocarbón, que facilitó la acción de estos microorganismos.

Nitrógeno amoniacal

Los resultados del análisis de nitrógeno amoniacal en el guano revelan tendencias significativas ($P \leq 0,05$) en relación con los tratamientos aplicados. Como se observa en la Tabla 6, a los 21 y 42 días de almacenamiento se registraron valores altos de nitrógeno amoniacal para todos los tratamientos, los cuales tienden a disminuir con el tiempo.

Tabla 6. Variación de nitrógeno amoniacal en el tiempo, al aplicar biocarbón de paja de trigo y cáscara de avellana europea en dieta y en el guano.

Tratamiento	N-NH ₃ (g kg MS ⁻¹)				
	Día 0	Día 21	Día 42	Día 77	Día 133
1	1,00	3,89	3,23	0,51 a	0,26 bc
2	1,00	4,22	1,70	1,06 b	0,38 c
3	1,00	2,88	1,30	0,41 a	0,14 ab
4	1,02	3,69	2,36	0,25 a	0,14 ab
5	0,83	3,33	1,37	0,20 a	0,09 a
6	0,83	2,96	3,32	0,19 a	0,17 ab
7	1,05	2,62	2,01	0,11 a	0,18 bc
8	1,05	4,17	1,88	0,21 a	0,17 ab
Valor-p	> 0,05	0,7217	0,5629	0,0081	0,00169

1: Dieta y guano sin tratar, 2: Dieta sin tratar y guano+ 10% biocarbón paja de trigo, 3: Dieta sin tratar y Guano + 10% biocarbón cáscaras de avellana, 4: Dieta + 0,3% de zeolita y guano sin tratar, 5: Dieta + 0,3% biocarbón paja de trigo y guano sin tratar, 6: Dieta + 0,3% biocarbón paja de trigo y guano + 10% biocarbón paja de trigo, 7: Dieta + 0,3% biocarbón cáscaras de avellana y guano sin tratar, 8: Dieta + 0,3% biocarbón cáscaras de avellana y guano + 10% biocarbón cáscaras de avellana. Letras iguales en sentido vertical indican que no hay diferencias entre tratamientos.

A los 21 días de almacenamiento se registró un rango entre 2,62 y 4,22 g kg MS⁻¹, mientras que al día 42 el rango fue de 1,37 y 3,32 g kg MS⁻¹. Sin embargo, a partir del día 77 de almacenamiento, se evidenció una disminución en los niveles de nitrógeno amoniacal en la mayoría de los tratamientos, alcanzando un rango de 0,11% y 0,41 g kg MS⁻¹. Cabe destacar que el Tratamiento 2 (sin biocarbón en la

dieta y adicionando biocarbón de paja de trigo al guano), fue el que desde los 77 días de almacenamiento presentó diferencias significativas con un mayor contenido de nitrógeno amoniacal respecto a los demás tratamientos, lo que podría significar una mayor eficiencia en la retención de nitrógeno. De hecho, en el ensayo se evidencia que, a mayor contenido de proteína cruda, menor contenido de nitrógeno amoniacal por tratamiento.

El contenido de N amoniacal de los guanos almacenados presentó patrones de desaparición que van en disminución a medida que avanza el tiempo de almacenamiento. Hasta 42 días de almacenamiento no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, luego a los 77 días hasta finalizar el estudio se registraron diferencias significativas, siendo el Tratamiento 2 (sin biocarbón en la dieta y adicionando biocarbón de paja de trigo al guano) el que registró mayor contenido de nitrógeno amoniacal hasta el final del estudio, en cambio, el tratamiento 7 (con biocarbón de cáscara de avellana en la dieta y sin biocarbón en el guano) a los 77 días de almacenamiento registró el menor contenido de N-NH_3 , sin presentar diferencias estadísticas con los demás tratamientos.

En cuanto al nitrógeno amoniacal, se debe considerar que el contenido de nitrógeno en el guano puede variar dependiendo de su almacenamiento o tratamiento. Un estudio llevado a cabo por Nahm (2003) indica que diversos factores, como pH de la cama, temperatura y contenido de humedad, pueden tener un impacto significativo en los resultados. Algunos de estos factores incluyen la temperatura, ya que, a temperaturas elevadas, el amoníaco se vuelve más volátil, facilitando su liberación al aire. Durante la toma de muestras del presente estudio, se registraron temperaturas máximas de alrededor de 30 °C (MeteoChile, 2023). La humedad, de manera similar, puede intensificar la volatilización del amoníaco; por lo que, la adición de biocarbón al guano resultó en una notable reducción de la humedad de éste. Al respecto, el trabajo de Pérez-Cabrera *et al.* (2021), permitió determinar que la adición de hasta un 40 % de biocarbón de cascarilla de arroz a un medio de crecimiento universal, como la turba, no altera las propiedades físicas del medio, incluida la porosidad total, porosidad de aireación y porosidad de retención de humedad. Además, este aditivo ha evidenciado su capacidad para

actuar como un absorbente de NH_3 y NH_4 solubles en agua, lo que conduce a una disminución de las pérdidas de nitrógeno durante el proceso de compostaje del estiércol (Steiner *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2023); lo que se evidencia en la reducción del contenido de N-NH_3 , en todos los tratamientos (T3, T4, T5, T6, T7 y T8), comparativamente con el Tratamiento 1 (control).

Metano

Al evaluar la concentración de el metano, fue indetectable en todos los tratamientos y tiempos de evaluación. Estos resultados revelan que no se generó metano bajo las condiciones experimentales estudiadas, siendo este volatilizado aproximadamente antes de transcurridas 24 horas, luego de que las gallinas excretaran.

En relación con los registros de metano, todas las mediciones en los diferentes tratamientos resultaron en cero emisiones de dicho gas, lo que sugiere que no se detectó producción de metano ni de ningún otro tipo de gas durante la incubación de las muestras. Esta ausencia de gases puede atribuirse a la naturaleza anaeróbica estricta de las bacterias metanogénicas, responsables de la generación de metano. Estas bacterias son sensibles a la presencia de oxígeno, y en su presencia, su actividad se ve inhibida o suprimida (Whitman *et al.*, 2006). Esto se corresponde con el método de almacenamiento en este estudio, en el cual cada muestra estuvo expuesta al oxígeno.

Sobre los resultados de este estudio, surge una consideración relevante en relación con la producción de metano. Es probable que la ausencia de detección de metano en todas las mediciones realizadas se deba, en parte, a la cantidad relativamente limitada de guano utilizada en el análisis en comparación con la gran acumulación de guano en los planteles avícolas comerciales. En estos últimos se puede generar una mayor actividad microbiana, lo cual puede reportar un comportamiento diferente en comparación con las condiciones más controladas de este estudio, pero también la volatilización del metano es rápida. Desde un punto teórico, el ADAS (Agricultural Development and Advisory Service) señala que el contenido calórico del guano de aves es de $13,5 \text{ GJ ton}^{-1}$, el cual es capaz de desprender biogás, un producto compuesto de 60-70% de metano (CH_4) y anhídrido

carbónico (CO₂) (Fuquene y Yate, 2017). En tal sentido, la ausencia de gas metano detectado en este estudio podría ser un reflejo de esta diferencia en escala y actividad microbiana. Futuras investigaciones podrían abordar este aspecto evaluando la producción de metano en condiciones más representativas de la escala comercial de la industria avícola.

CONCLUSIÓN

La incorporación de biocarbón en la dieta y en el guano no mostró una respuesta clara en la estabilización temprana del guano. No obstante, el tratamiento con biocarbón de paja de trigo aplicado exclusivamente en el guano logró resultados significativos al día 77, mostrando una mayor retención de nitrógeno amoniacal y, consecuentemente, reduciendo las emisiones de este gas.

REFERENCIAS

1. Adekiya, A., T. Agbede, W. Ejue, C. Aboyeji, O. Dunsin, C. Aremu and O. Adesola. 2020. Biochar, poultry manure and NPK fertilizer: sole and combine application effects on soil properties and ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) performance in a tropical Alfisol. *Open Agriculture*. 5(1): 30-39.
2. Adell, E. 2014. Airborne particulate matter and bioaerosols in poultry and rabbit houses: quantification, characterization and reduction measures. Valencia (España): Universitat Politècnica de València (Tesis de Grado).
3. Aguiar Trujillo, L., B.A. Ramos Robaina, F. Márquez Montesinos, A.G. Callejo and J. Arauzo Pérez. 2015. Proceso de pirólisis rápida de los residuos sólidos de naranja. Influencia de factores en el proceso. *Centro Azúcar*. 42(2): 39-47.
4. AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. Virginia, p1000-1050: AOAC (Association of Oficial Analytical Chemists).
5. AOAC. 1995. Journal of AOAC International. AOAC (Association of Oficial Analytical Chemists), Volume 78, Issue 1, Pages 253–283.
6. Barrow, C. 2012. Biochar: potential for countering land degradation and for improving agriculture. *Applied Geography*, 34: 21-28.
7. Cai, L., J. Koziel, Y. Liang, A. Nguyen and H. Xin. 2007. Evaluation of zeolite for control of odorants emissions from simulated poultry manure storage. *J Environ Qual*. 36(1): 184-193.

8. Cano-Hernández, M., A. Bennet-Eaton, E. Silva-Guerrero, S. Robles-González, U. Sainos-Aguirre and H. Castorena-García. 2016. Caracterización de bioles de la fermentación anaeróbica de excretas bovinas y porcinas. *Agrociencia*. 50(4): 471-479.
9. Chai, L. 2022. Manure Drying Methods in Layer Houses. *UGA Poultry Science*, pp 5.
10. CTL. 2009. Guía de Mejores Técnicas disponibles para el sector de Explotaciones Intensivas de Aves en la Comunitat Valenciana. Valencia (España): Centro de Tecnologías Limpias.
11. Escalante, A., G. Pérez, C. Hidalgo, J. López, J. Campo, E. Valtierra and J. Etchevers. 2016. Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*. 34(3): 367-382.
12. FAO. 2023. Cultivos y Producción Ganadera. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
13. Faxas Esaclona, R., J.A. Suárez Rodríguez and P.A. Beatón. 2010. Pirólisis autotérmica en lecho fluidizado de aserrín de algarrobo. *Tecnología Química*, 2: 95-101.
14. Ferrer, V., M. Flores, H. Grandón, N. Escalona and C. Segura. 2023. Ammonia Removal in Activated Carbons Prepared from Olive Oil Industry Waste. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 34, 287-301.
15. Fuquene, D. and A. Yate. 2017. Alternativas de aprovechamiento para los excrementos de las granjas avícolas ubicadas en el Municipio de Fómeque Cundinamarca. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD de Colombia (Documentos de Trabajo ECAPMA).
16. Grasshoff, K., M. Erhardt and K. Kremling. 1983. *Methods of Seawater Analysis*. New York, 419 p.: 2nd Edition, Verlag Chemie Weinheim.
17. Hénault, C., F. Bizouard, P. Laville, B. Gabrielle, B. Nicoullaud, J. Germon and P. Cellier. 2005. Predicting in situ soil N₂O emission using NOE algorithm and soil database. *Global Change Biology*. 11(1): 115-127.
18. IBI. 2015. Standardized Product Definition and Product Testing Guidelines for International Biochar Initiative.

19. INE. 2024. Instituto Nacional de Estadística.
20. IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
21. Irshad, M., A. Eneji, Z. Hussain and M. Ashraf. 2013. Chemical characterization of fresh and composted livestock manures. *Journal of soil science and plant nutrition*. 13(1): 115-121.
22. Kalus, K., D. Konkol, M. Korczyński, J. Koziel and S. Opaliński. 2020. Effect of biochar diet supplementation on chicken broilers performance, NH₃ and odor emissions and meat consumer acceptance. *Animals*. 10(9): (1539).
23. Keskinen, R., T.S. Suojala-Ahlfors, M. Hagner, J. Kaseva, T. Salo and K. Rasa. 2020. Granulated broiler manure based organic fertilizers as sources of plant available nitrogen. *Environmental Technology & Innovation*. 18: 100734.
24. Komiyama, T., A. Kobayashi and M. Yahag. 2013. The chemical characteristics of ashes from cattle, swine and poultry manure. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. 15: 106-110.
25. Lebrun, M., J. Bouček, K. Bímová, K. Kraus, D. Haisel, M. Kulháněk and L. Trakal. 2022. Biochar in manure can suppress water stress of sugar beet (*Beta vulgaris*) and increase sucrose content in tubers. *Science of The Total Environment*. 814: 152772.
26. Major, J., A. DiTommaso, J. Lehmann and N. Falcao. 2005. Weed dynamics on Amazonian Dark Earth and adjacent soils of Brazil. *Agriculture, ecosystems & environment*. 111(1-4): 1-12.
27. MeteoChile. 2023. Pronóstico General del Tiempo. Recuperado el 15 de diciembre de 2023, de Dirección Meteorológica de Chile.
28. Mosharrof, M., M. Uddin, S. Jusop, M. Sulaiman, S. Shamsuzzaman and A. Haque. 2021. Integrated use of biochar and lime as a tool to improve maize yield and mitigate CO₂ emission: A review. *Chilean journal of agricultural research*. 81(1): 109-118.
29. Mullo, I. 2012. Manejo y Procesamiento de la Gallinaza. Riobamba (Ecuador): Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias

Pecuarías, Escuela de Ingeniería Zootécnica (Tesis de Grado).

30. Muñoz, C., M. Ginebra and E. Zagal. 2019. Variation of greenhouse gases fluxes and soil properties with addition of biochar from farm-wastes in volcanic and non-volcanic soils. *Sustainability*, 11(7): 1831.
31. Nahm, K. 2003. Evaluation of the nitrogen content in poultry manure. *World's Poultry Science Journal*, 59(1): 77-88.
32. Naylor, T., S. Wiedemann, F. Phillips B. Warren, E. McGahan and C. Murphy. 2016. Emissions of nitrous oxide, ammonia and methane from Australian layer-hen manure storage with a mitigation strategy applied. *Animal Production Science*. 56(9): 1367-1375.
33. Pajares, S. and B. Bohannan, B. 2016. Ecology of nitrogen fixing, nitrifying, and denitrifying microorganisms in tropical forest soils. *Frontiers in microbiology*. 7: 1045.
34. Pariona-Palomino, J., W. Matos-Ormeño and E. Huillca-Huanaco. 2020. Biochar como tecnología de emisión negativa frente al cambio climático. *South Sustainability*. 1(2): e014-e014.
35. Pérez-Cabrera, C., P. Juárez-López, J. Anzaldo-Hernández, I. Alia-Tejacal, S. Gayosso-Rodríguez, E. Salcedo-Pérez and L. Cabrera-Chavarría. 2021. Biocarbón de cascarilla de arroz como sustrato en el crecimiento de plántulas de pepino. *Revista Chapingo. Serie horticultura*. 27(3): 171-183.
36. Prasai, T., K. Walsh, D. Midmore, B. Jones and S. Bhattarai. 2018. Manure from biochar, bentonite and zeolite feed supplemented poultry: Moisture retention and granulation properties. *Journal of environmental management*, 216: 82-88.
37. Ritz, C. and W. Merka. 2009. Maximizing poultry manure use through nutrient management planning. *The University of Georgia*, pp 6.
38. Rong, R., Y. Zheng, F. Zhang, L. Yang and Z. Li. 2019. The effects of different types of biochar on ammonia emissions during co-composting poultry manure with a corn leaf. *Polish Journal of Environmental Studies*. 28(5): 3837-3843.
39. Santonja, G., K. Georgitzikis, B. Scalet, P. Montobbio, S. Roudier and L. Sancho. 2017. Best available techniques (BAT) reference document for the intensive rearing of poultry or pigs. *EUR 28674 EN*, 11: 898.

40. Schmidt, H., N. Hagemann, K. Draper and C. Kammann. 2019. The use of biochar in animal feeding. *PeerJ*, 7: e7373.
41. Schneider, A., O. Zimmermann and C. Gewehr. 2017. Zeolites in poultry and swine production. *Cienc. Rural*. 47(8): 1-8.
42. Shafie, S.T., M.M. Salleh, L.L Hang, M. Rahman and W. Ghani. 2012. Effect of pyrolysis temperature on the biochar nutrient and water retention capacity. *Journal of purity, utility reaction and environment*. 1(6): 293-307.
43. Signor, D. and E. Cerri. 2013. Nitrous oxide emissions in agricultural soils: a review. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. 43: 322-338.
44. Steiner, C., K. Das, N. Melear and D. Lakly. 2010. Reducing nitrogen loss during poultry litter composting using biochar. *Journal of environmental quality*. 39(4): 1236-1242.
45. Suescun-Ospina, S. T., Vera, N., Astudillo, R., Yunda, C., Williams, P., Allende, R., & Ávila-Stagno, J. (2022). Effects of País grape marc inclusion in high and low forage diets: ruminal fermentation, methane production and volatile fatty acids, 21(1), 924– 933.
46. Tasneen, K.S., Z Shah. 2017. Soil respiration, pH and EC as influenced by biochar. *Soil & Environment*. 36(1): 77-83.
47. Zapata, O., I. Ferreira, J. Osorio, C. Souza and M. Araujo. 2015. Evaluation of the fertilizer and contamination potential of different broiler litter types subjected to various use cycles. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 68(2): 7637-7646.
48. Zhang, H., X. Zhang, M. Chen, X. Deng, Y. Pei, J. Zhang and S. Yang. 2023. Biochar Can Improve Absorption of Nitrogen in Chicken Manure by Black Soldier Fly. *Life*. 13(4): 938.