

## EFFECTO DE NIVELES DE LIXIVIADO DE HUMUS DE LOMBRIZ CON DIFERENTES DENSIDADES DE SIEMBRA EN FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE MAÍZ CUBANO

### Effect of earthworm humus leachate levels at different planting densities on hydroponic green forage of Cuban maize

Gutiérrez, E.<sup>1</sup>, Cusi, R.<sup>2</sup>

#### RESUMEN

La investigación se realizó en el municipio de Laja, donde se fijaron los siguientes objetivos: a) determinar el rendimiento de materia verde y seca y b) evaluar el mejor nivel de lixiviado de lombriz con diferentes densidades de siembra de maíz. Se puso el lixiviado en un recipiente con agua por 72 horas, se usó 1 kg en 2 L de agua, donde se preparó el té al 20, 40, 60 y 0 % (Testigo). Se utilizó el DBCA con arreglo bifactorial para evaluar cuatro niveles del té con tres densidades de siembra en la producción del FVH de maíz. Según los resultados y conclusiones, para altura de planta, con una densidad de siembra de 4 kg/m<sup>2</sup> se obtuvo una altura promedio de 21.29 cm, con una densidad de 3 kg/m<sup>2</sup>, la altura registró 19.68 cm, asimismo el nivel de lixiviado de lombriz (60 %) anotó una mayor la altura de planta. En relación a longitud de raíz, con densidad de siembra de 3.5 kg/m<sup>2</sup> presentó una longitud promedio 8.74 cm y la densidad 3 kg/m<sup>2</sup> un promedio de 7.76 cm. Los promedios de rendimiento de FVH de maíz para los cuatro niveles de lixiviado en los tratamientos con 40 y 20 % anotan mayor rendimiento de materia verde con un promedio de 22.56 y 22.38 kg/m<sup>2</sup> respectivamente; el menor rendimiento fue de 60 % con 20.76 kg/m<sup>2</sup>. Los promedios de rendimientos de materia seca para densidad de siembra, mostraron que los tratamientos con densidades de siembra de 4 y 3.5 kg/m<sup>2</sup> son significativamente superiores a los obtenidos por los tratamientos con densidad de 3 kg/m<sup>2</sup> (Testigo).

**Palabras clave:** maíz Cubano, forraje verde hidropónico (FVH), lixiviado de humus de lombriz, rendimiento.

#### ABSTRACT

The research was carried out in the municipality of Laja, where the following objectives were set: a) to determine the green and dry matter yield and b) to evaluate the best level of earthworm leachate with different corn planting densities. The leachate was placed in a container with water for 72 hours, 1 kg was used in 2 L of water, where tea was prepared at 20, 40, 60 and 0 % (control). DBCA with bifactorial arrangement was used to evaluate four levels of tea with three planting densities in the production of maize FVH. According to the results and conclusions, for plant height, with a sowing density of 4 kg/m<sup>2</sup> an average height of 21.29 cm was obtained, with a density of 3 kg/m<sup>2</sup>, the height registered 19.68 cm, also the level of worm leachate (60 %) registered a greater plant height. In relation to root length, with sowing density of 3.5 kg/m<sup>2</sup> showed an average length of 8.74 cm and density 3 kg/m<sup>2</sup> an average of 7.76 cm. The maize FVH yield averages for the four leachate levels in the 40 % and 20 % treatments show the highest green matter yield with an average of 22.56 and 22.38 kg/m<sup>2</sup> respectively; the lowest yield was 60 % with 20.76 kg/m<sup>2</sup>. The average dry matter yields for sowing density showed that the treatments with sowing densities of 4 and 3.5 kg/m<sup>2</sup> were significantly higher than those obtained by the treatments with a density of 3 kg/m<sup>2</sup> (control).

**Keywords:** Cuban maize, hydroponic green fodder (HVF), earthworm humus leachate, yields.

#### Artículo original

DOI: <https://doi.org/10.53287/etyb3196sv12z>

Recibido: 05/11/2023

Aceptado: 25/06/2024

<sup>1</sup> Docente, Carrera de Ingeniería en Producción y Comercialización Agropecuaria, Universidad Mayor de San Andrés; Investigador municipio de Laja, Bolivia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9861-4200>. [eddyguti12@gmail.com](mailto:eddyguti12@gmail.com)

<sup>2</sup> Investigador, Unidad de Proyectos Municipio de Laja, Bolivia. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4041-5112>. [renecusijata41@gmail.com](mailto:renecusijata41@gmail.com)

## INTRODUCCIÓN

En el Altiplano Boliviano, la producción agropecuaria está limitada por diversos factores como: fenómenos climáticos, deterioro de suelos agrícolas, altos costos de insumos y están acompañadas de un mal manejo como el sobrepastoreo que genera erosión en el suelo (Orsag, 2009). Estos factores, afectan negativamente a la producción ganadera especialmente a los pequeños productores que tienen como fuente de alimentación a las pasturas naturales.

La producción de forraje verde hidropónico (FVH) posee alto valor nutritivo que oscila entre los 15 y 22 % de proteína cruda (PC) dependiendo la especie que se utilice, es un forraje de producción o corte temprano altamente digestivo, su elaboración no es compleja (García, 2021). El proceso se realiza en recipientes planos, por un periodo de tiempo que no exceda los 12 o 15 días, realizándose riegos por aspersión, micro aspersión y nebulización, requiere un riego uniforme hasta que los brotes alcancen un largo de 3 a 4 cm; a partir de ese momento se riega con una solución nutritiva que aporte los elementos químicos necesarios (N, P, K) para el óptimo crecimiento, brindarle otras características para mejorar su composición nutritiva (López et al., 2013).

Consecuentemente, la búsqueda de metodologías alternativas de producción de forraje para la obtención de altos rendimientos por m<sup>2</sup> ocupado, calidad nutricional, flexibilidad en la transferencia y mínimos impactos negativos sobre el medio ambiente es de particular importancia. Considerando los puntos anteriores, se puede decir que el FVH se constituye en una opción alterna a métodos convencionales de producción de forraje que contribuya a una actividad agropecuaria sostenible en las zonas áridas y semiáridas (Aguilar et al., 2008).

La metodología del FVH se aplica en climas adversos, en cualquier época del año, en cualquier localidad geográfica y sin necesidad de contar con una superficie de producción. Este forraje es apto para varias especies ganaderas como vacuno, camélido, caprino, ovino, aves, equinos y otros (FAO, 2001). No obstante, las bondades que presenta el FVH en comparación con otras alternativas de alimentación para el ganado, persisten aún con dudas y falta de conocimientos sobre la elaboración apropiada y la calidad que posee.

El presente estudio tiene el objetivo de evaluar el efecto de distintos niveles de lixiviado de humus de lombriz a diferentes densidades de siembra en forraje verde hidropónico de maíz Cubano. Los objetivos específicos son: a) determinar el rendimiento en materia verde y materia seca de FVH de maíz y b) determinar el mejor nivel de lixiviado de humus de lombriz y densidad en la producción de FVH de maíz.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización

La investigación se desarrolló en el municipio de Laja, provincia Los Andes, correspondiente al departamento de La Paz (Bolivia), situada a una distancia de 27 km de la ciudad de La Paz, está ubicada geográficamente entre los paralelos 16° 46' 15.11" Latitud Sur y 68° 29' 49.81" Longitud Oeste, y se encuentra a una Altitud de 3 902 m s.n.m. (PTDI, 2016).

La temperatura de la zona de estudio alcanza a una máxima de 15.7 °C y mínima de -2.8 °C con una media de 8.4 °C cuenta con una precipitación anual de 667 mm que son concentrados en los meses de noviembre a marzo, si bien las primeras lluvias se registran en septiembre pueden extenderse hasta abril, el promedio de precipitación máxima anual es de 911 mm y el mínimo es 404 mm (PTDI, 2016).

## **Metodología**

### *Preparación de té de humus de lombriz*

García (2021) expresa para la preparación del lixiviado de humus de lombriz se procede con la desinfección y secado al sol por dos días del humus de lombriz, posterior a ello, se realiza el tamizado y embolsado en sacos, posteriormente se coloca en un contenedor con agua con la siguiente relación 1:2 (1 kg de humus de lombriz y 2 L de agua); pasado los tres días se obtiene un líquido soluble y consistente.

Los estantes fueron construidos con madera en las siguientes dimensiones 1.5 m de altura y 3 m de ancho, cada estante contó con tres niveles, separados cada 0.30 m con una pendiente del 5 % para drenar la solución excedente de las bandejas. Las bandejas tuvieron las siguientes medidas: 0.45 m de largo, 0.45 m de ancho y 0.05 m de altura con un área de 0.20 m<sup>2</sup>.

### *Pre-germinación de la semilla*

Para el pre-germinado se adquirió las semillas de maíz de la variedad Cubano de la feria local 16 de Julio de la ciudad de El Alto. Se procedió a seleccionar cuidando que los granos estén en buen estado (rotos y maltratados se eliminaron). Asimismo, se realizó la prueba de germinación a la semilla adquirida. La semilla se desinfectó en una solución de hipoclorito de sodio al 1 % durante dos minutos, luego, se procedió al lavado de la semilla con abundante agua (García, 2021) para realizar el germinado de la semilla se sumergió al agua limpia por 24 horas, esto para romper el estado de latencia de la semilla y lograr una completa imbibición, finalmente se procedió con el oreado por una hora.

### *Siembra*

La siembra consistió en el colocado de la semilla pre-germinada en bandejas, considerando las densidades de siembra y distribuyendo de manera homogénea en una delgada capa de semilla pre-germinada. Posterior a ello, se cubrió con poliamida de color negro para mantener una semioscuridad. Se inició con el riego usando agua común hasta el cuarto día. A partir del quinto día, se realizó el riego con lixiviado de humus de lombriz en los siguientes horarios: 1<sup>er</sup> riego 9:00 a.m. y el 2<sup>do</sup> a 14:00 o 15:00, dependiendo de las condiciones de temperatura en el ambiente hidropónico.

### *Cosecha*

La cosecha se realizó cuando las plántulas alcanzaron una altura promedio de 22 cm. El número de cosechas dependió de la temperatura, condiciones ambientales en el invernadero.

### *Diseño experimental y factores de estudio*

La investigación se estableció aplicando un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con arreglo bifactorial (Ochoa, 2009). En el cual se evaluaron cuatro niveles de lixiviado de humus de lombriz y tres densidades de siembra con tres repeticiones, obteniéndose un total de 36 unidades experimentales. Se utilizó el paquete estadístico para el análisis de la información del SAS 2021. Los factores de estudio fueron los siguientes (Tabla 1):

Tabla 1. Factores de estudio.

Factor A: densidad de siembra	Factor B: niveles de lixiviado de humus de lombriz
Densidad 1 (D1): 3 kg/m <sup>2</sup>	Nivel 1 (N1): testigo (sin té de humus de lombriz)
Densidad 2 (D2): 3.5 kg/m <sup>2</sup>	Nivel 2 (N2): 20 % de lixiviado de humus de lombriz (20 L de lixiviado humus de lombriz + 80 L de agua)
Densidad 3 (D3): 4 kg/m <sup>2</sup>	Nivel 3 (N3): 40 % de lixiviado de humus de lombriz (40 L de lixiviado humus de lombriz + 60 L de agua)
	Nivel 4 (N4): 60 % de lixiviado de humus de lombriz (60 L de lixiviado humus de lombriz + 40 L de agua)

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Porcentaje de germinación

Las muestras de los resultados de porcentaje de germinación de la semilla de maíz de variedad Cubano, indica que el 97 % de las semillas germinaron y el 3 % no germinaron. Al respecto, en un estudio de evaluación de producción de FVH de maíz amarillo (variedad Chiriguano) bajo ambiente atemperado, obtuvo un 92.4 % de germinación de semillas de maíz (Tito, 2016). Utilizó dos soluciones nutritivas en la producción de FVH de maíz blanco de la variedad Hualtaco a diferentes densidades de siembra en la comunidad Totorani, se reportaron los siguientes resultados, para una densidad de siembra de 3 kg/m<sup>2</sup>, se obtuvo 93.33 % de germinación; y para 2 kg/m<sup>2</sup> se obtuvo 90.92 % de germinación (Paucara, 2012) valores muy similares al presente estudio.

### Días a la germinación

Según la Tabla 2, existen diferencias altamente significativas para bloques, este resultado anota que el diseño es apropiado para el estudio, sin embargo, no existen diferencias significativas para densidad de siembra, nivel de lixiviado de humus de lombriz e interacción (densidad por nivel del lixiviado de humus) en los valores de días a la germinación. Obteniendo un coeficiente de variación de 6.57 % que se halla en los parámetros permitidos y un promedio de 4.53 días a la germinación.

Tabla 2. Análisis de varianza para días a la germinación.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Pr>F
Bloque	2	6.05555556	3.02777778	34.26	<0001 **
A(densidad)	2	0.05555556	0.02777778	0.31	0.7335 ns
B (nivel)	3	0.30555556	0.10185185	1.15	0.3502 ns
A*B	6	0.61111111	0.10185185	1.15	0.3664 ns
Error	22	1.94444444	0.08838384		
Total	35	8.97222222			

Promedio = 4.53 días); coeficiente de variación = 6.57 %; \*\* = altamente significativo; ns = no significativo.

En la Figura 1, se observa que las densidades de siembra 3.5 y 4 kg/m<sup>2</sup> se registran menor número de días de germinación con un promedio de 4.5 días y el que necesitó mayor tiempo para germinar fue la densidad 3 kg/m<sup>2</sup> con 4.58 días.

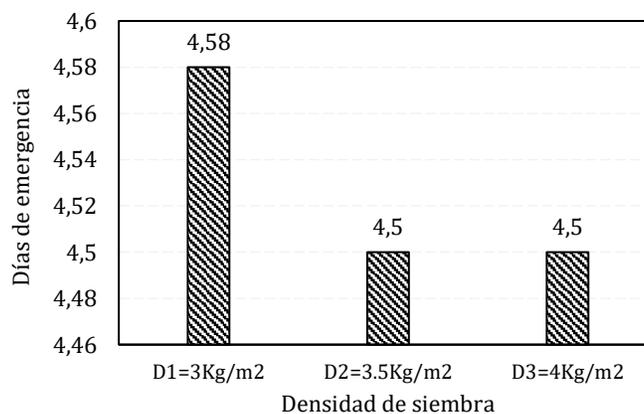


Figura 1. Días a la germinación para densidades de siembra.

Al respecto, en un estudio de evaluación del efecto de dos soluciones nutritivas en la producción de FVH de maíz blanco con 2 y 3 kg/m<sup>2</sup> de densidad de siembra, se registra un tiempo de cuatro días a partir de la siembra a la germinación (Paucara, 2012). Machaca (2018) señala un tiempo de cuatro días en el estudio del efecto de tres niveles de biol bovino (0, 20, 40 y 60 %) en la producción de FVH de maíz forrajero con 3.5 kg/m<sup>2</sup> de densidad de siembra en la localidad de Viacha. Estos resultados registrados en el presente estudio son similares a los obtenidos por los autores anteriormente citados.

### Altura de planta

En la Tabla 3, se muestra el análisis de varianza para altura de planta. Donde se registra que existen diferencias altamente significativas entre bloques, el resultado indica que se logró eficiencia con el diseño de la investigación. Asimismo, en niveles de lixiviado de humus de lombriz presentan diferencias altamente significativas. Sin embargo, entre densidades de siembra e interacción de densidad y nivel de lixiviado no presentan diferencias estadísticamente significativas. Obteniendo un coeficiente de variación de 9.66 % y un promedio de 20.47 cm de altura de planta.

Tabla 3. Análisis de varianza para altura de planta.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Pr>F
Bloque	2	69.95801	34.9790083	8.9	<0014 **
A(Densidad)	2	15.54561	7.77280833	1.9	0.161 ns
B (Nivel de te)	3	75.61160	25.2038694	6.4	0.0027 **
A*B	6	14.96611	2.49435278	0.6	0.699 ns
Error	22	86.07611	3.9125508		
Total	35	267.1574			

Promedio = 20.47 cm; coeficiente de variación = 9.66 %; \*\* = altamente significativo; ns = no significativo.

En la Figura 2, se observa que con una densidad de siembra 4 kg/m<sup>2</sup> se obtuvo una altura promedio de 21.29 cm y la menor altura se registró con una densidad de 3 kg/m<sup>2</sup> con 19.68 cm.

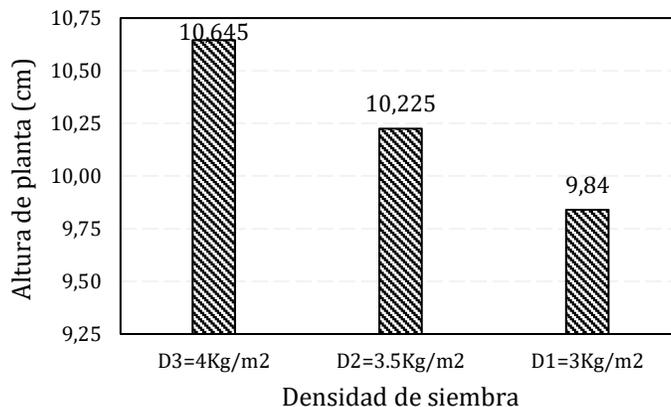


Figura 2. Altura de planta para densidades de siembra.

Al respecto, en la evaluación nutricional y económica de la producción del FVH de maíz criollo amarillo con fertirriego y 3 kg/m<sup>2</sup> de densidad de siembra que se realizó en Costa Rica, este reporta un promedio de 24 cm de altura de planta a los 12 días de crecimiento a una altitud de 840 m s.n.m. (Moreno, 2018). Tito (2016), en la evaluación de producción de FVH de maíz amarillo (variedad Chiriguano) con humus liquido como abono foliar, con una densidad de 3.4 kg/m<sup>2</sup> bajo ambiente atemperado, obtuvo un promedio de 25.63 cm de altura de planta.

Las alturas de plantas reportadas por Tito (2016) y Moreno (2018) son superiores a los obtenidos en la presente investigación. Las cuales, se pueden atribuir a las diferentes variedades de maíz utilizados por los autores mencionados, al uso de fertirriego, a la altura sobre el nivel del mar inferior donde se realizó el estudio. En la Figura 3, se observa que con el nivel 4 (60 % de lixiviado de humus de lombriz) pudo obtener una altura mayor llegando a un promedio de 22.09 cm y la menor altura registrada fue con el nivel 1 (Testigo) con 18.22 cm.

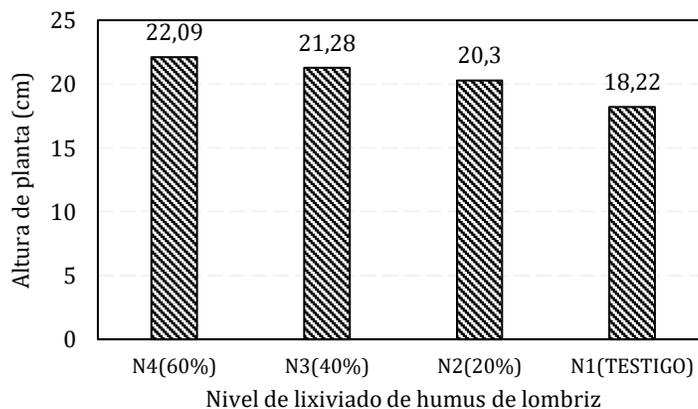


Figura 3. Altura de plantas para los niveles de lixiviado de humus de lombriz.

Por otra parte, en un estudio de evaluación de producción de FVH de maíz amarillo (variedad Chiriguano) con humus liquido como abono foliar bajo ambiente atemperado, se obtuvo un promedio de 25.63 cm de altura de planta (Tito, 2016). Mayta (2016), en el estudio del efecto de tres sustratos en el rendimiento y calidad de la producción de forraje verde hidropónico de maíz blanco variedad criollo, reporta 22.8 cm de altura de planta para el sustrato paja de avena. Por otra parte, Moreno (2018) en el estudio de evaluación nutricional y económica de la producción de FVH de maíz criollo amarillo con fertirriego registra un promedio de 24 cm de altura de planta. Estos resultados son distintos a los registrados en la presente investigación, debido a factores climáticos y altitudinales (4000 m s.n.m.).

## Longitud de raíz

Según la Tabla 4, los bloques, densidad de siembra, nivel del lixiviado de humus e interacción densidad por nivel de lixiviado, no presentan diferencias significativas en los valores de longitud de raíz. Obteniendo un coeficiente de variación de 15.79 % que está dentro del rango permitido y un promedio general de 8.14 cm de longitud de raíz.

Tabla 4. Análisis de varianza para longitud de raíz.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Pr>F
Bloque	2	7.84361667	3.92180833	2.38	0.1162 ns
A (densidad)	2	6.63386667	3.31693333	2.01	0.1578 ns
B (nivel)	3	11.80038611	3.93346204	2.38	0.0967 ns
A*B	6	13.54048889	2.25674815	1.37	0.2709 ns
Error	22	36.29231667	1.64965078		
Total	35	76.11067500			

Promedio = 8.14 cm; coeficiente de variación = 15.79 %; ns = no significativo.

Según la Figura 4 referente a densidad de siembra el 3.5 kg/m<sup>2</sup>, este presentó mayor longitud de raíz con un promedio de 8.74 cm y el menor registró 7.76 cm para 3 kg/m<sup>2</sup> de densidad.

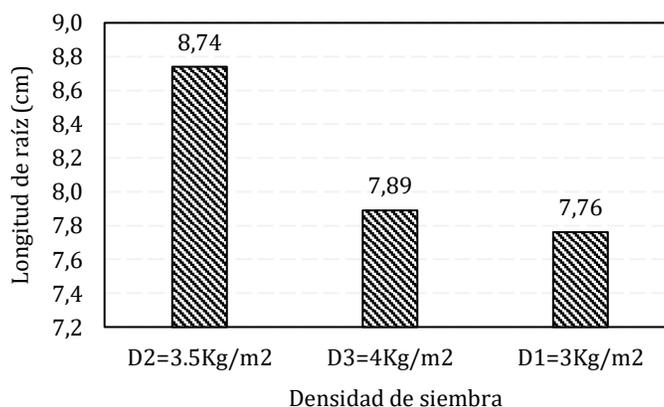


Figura 4. Longitud de raíz para densidad de siembra.

Al respecto, se evaluó el efecto de dos soluciones nutritivas en la producción de FVH de maíz blanco de la variedad Hualtaco con diferentes densidades de siembra en la comunidad Totorani del departamento de La Paz, este reporta para 2 kg/m<sup>2</sup> de densidad de siembra un promedio de 18.33 cm de longitud de raíz, para 3 kg/m<sup>2</sup> un promedio de 14.56 cm (Paucara, 2012). Tito (2016) en la producción de FVH de maíz amarillo (variedad Chiriguano), con humus líquido como abono foliar, con 3.4 kg/m<sup>2</sup> de densidad de siembra bajo ambiente atemperado, registró 26.81 cm de longitud de raíz. Estos resultados son totalmente diferentes a los encontrados en la presente investigación por efectos de manejo ambiental.

En la Figura 5, se representan los promedios de longitud de raíz para los niveles de lixiviado de humus de lombriz. En el cual se observa que con el nivel 60 % de lixiviado de humus de lombriz, se logró obtener mayor longitud de raíz (9.09 cm); con respecto a los niveles Testigo y 40 % de lixiviado té de humus de lombriz, que registraron promedios de 7.70 y 7.69 cm respectivamente.

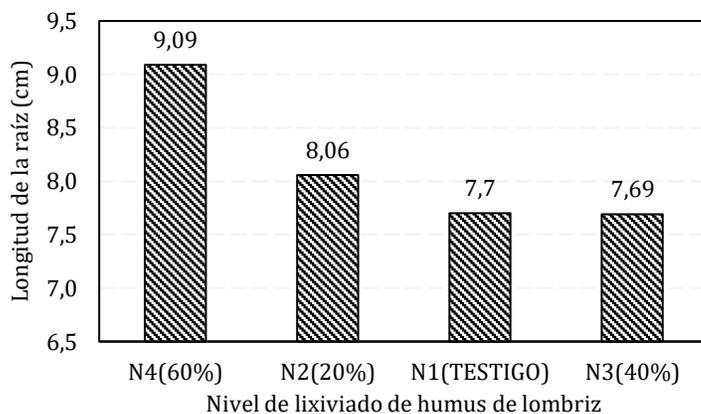


Figura 5. Longitud de raíz para niveles de lixiviado de humus de lombriz.

Al respecto, Tito (2016) registra un promedio de 26.81 cm de longitud de raíz para humus líquido como abono foliar en la producción de FVH de maíz amarillo (variedad Chiriguano). Las longitudes de raíz obtenidos en la presente investigación son inferiores en relación con los obtenidos por Tito (2016). Probablemente se debe a la alta humedad en el interior de las bandejas donde las plantas no obtuvieron un mayor desarrollo radicular.

### Rendimiento de materia verde del hidropónico de maíz

De acuerdo con el análisis de varianza (Tabla 5), se observa que en todas las fuentes de variación (densidad de siembra, nivel de lixiviado de humus de lombriz e interacción) no presentaron diferencias. El coeficiente de variación de 26.21 % y un promedio de 21.77 kg/m<sup>2</sup> que señala que los datos fueron manejados acertadamente en el lugar de estudio.

Tabla 5. Análisis de varianza para rendimiento de FVH de maíz.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Pr>F
Bloque	2	114.9085389	57.4542694	1.76	0.1947 ns
A(densidad)	2	115.6455389	57.8227694	1.78	0.1928 ns
B (nivel)	3	19.4565889	6.4855296	0.20	0.8958 ns
A*B	6	422.8731278	70.4788546	2.16	0.0862 ns
Error	22	716.478394	32.567200		
Total	35	1389.362189			

Promedio = 21.77 kg/m<sup>2</sup>; coeficiente de variación = 26.21 %; ns = no significativo.

Los tratamientos con densidad de siembra de 4 kg/m<sup>2</sup> muestran mayor rendimiento de FVH con un promedio de 23.91 kg/m<sup>2</sup> (Figura 6); en cambio, los que menor rendimiento son los tratamientos con densidad de 3 kg/m<sup>2</sup> con una media de 19.52 kg/m<sup>2</sup>.

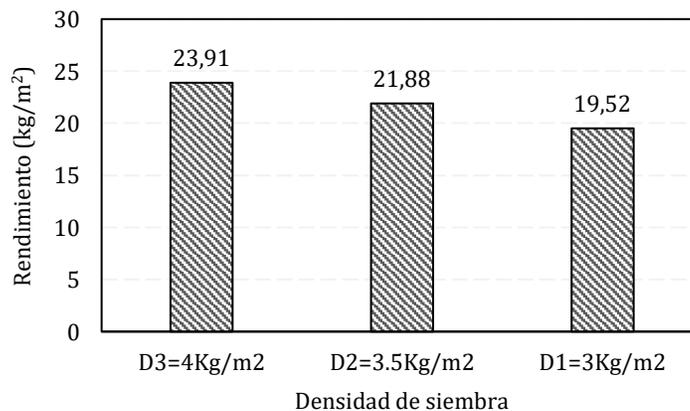


Figura 6. Rendimiento de forraje verde hidropónico de maíz para densidad de siembra.

Al respecto, un estudio de evaluación nutricional y económica de la producción de FVH de maíz criollo amarillo, donde se usó 3 kg/m<sup>2</sup> de densidad de siembra con fertiriego, en Costa Rica, reporta un promedio de 16.60 kg/m<sup>2</sup> de rendimiento de biomasa verde a los 12 días de crecimiento a una altitud de 840 m s.n.m. (Moreno, 2018). Mayta (2016) señala el efecto de tres sustratos en el rendimiento y calidad de la producción de FVH de maíz blanco variedad criollo, con sustratos de cascarrilla de arroz, paja de avena y aserrín con rendimientos de materia verde de 25.89, 23.89 y 15.76 kg/m<sup>2</sup> respectivamente.

Otro estudio, que evalúa el efecto de dos soluciones nutritivas en la producción de FVH de maíz blanco a diferentes densidades de siembra, obtiene un promedio de 22.01 kg/m<sup>2</sup> de rendimiento de FVH para 3 kg/m<sup>2</sup> de densidad de siembra y 20.41 kg/m<sup>2</sup> para 2 kg/m<sup>2</sup> de densidad de siembra (Paucara, 2012). Los rendimientos de FVH obtenidos en el presente estudio son superiores a los de Moreno (2018). Sin embargo, muy similares a los obtenidos por Paucara (2012) e inferiores a los de Mayta (2016).

### Rendimiento de materia seca

Según el análisis de varianza (Tabla 6), las diferencias entre bloques son altamente significativas (Pr<0.01). Al contrario, las fuentes de variación (densidad de siembra y niveles de lixiviado de humus de lombriz) no muestran diferencias significativas. También se puede observar que existen diferencias significativas en la interacción de densidad de siembra por nivel de lixiviado de humus de lombriz en el rendimiento de materia seca. El coeficiente de variación establece un valor de 27.80 % con un promedio general de 4.25 kg/m<sup>2</sup>.

Tabla 6. Análisis de varianza para rendimiento de materia seca.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Pr>F
Bloque	2	17.18740556	8.59370278	6.16	0.0075 **
A (densidad)	2	8.75720558	4.37860278	3.14	0.0633 ns
B (nivel de lixiviado)	3	2.37825278	0.79275093	0.57	0.6421 ns
A*B	6	23.05630556	3.84271759	2.75	0.0377 ns
Error	22	30.71612778	1.39618763		
Total	35	82.09529722			

Promedio = 4.25 kg/m<sup>2</sup>; coeficiente de variación = 27.80 %; \*\* = altamente significativo; ns = no significativo.

Los promedios de rendimientos de materia seca para densidad de siembra de la Figura 7, demuestran que los tratamientos con densidades de siembra de 4 y 3.5 kg/m<sup>2</sup> son significativamente superiores en rendimiento de materia seca con respecto a los obtenidos por los tratamientos con densidad de 3 kg/m<sup>2</sup> (Testigo).

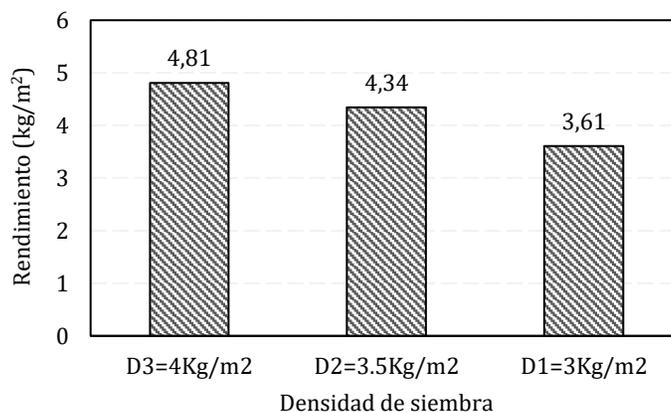


Figura 7. Rendimiento de materia seca para densidad de siembra.

Al respecto, Paucara (2012) registra un promedio de 2.71 kg/m<sup>2</sup> y 2.94 kg/m<sup>2</sup> de rendimiento de materia seca para 2 y 3 kg/m<sup>2</sup> de densidad de siembra. Tito (2016) obtiene, en promedio, 3.28 kg/m<sup>2</sup> de materia seca para

una densidad de siembra de 3.4 kg/m<sup>2</sup>. Los rendimientos de materia seca obtenidos en el presente estudio son superiores con respecto a los obtenidos por Paucara (2012) y ligeramente superiores en relación a Tito (2016). Que puede atribuir al uso de diferentes variedades de maíz en los estudios mencionados.

En la Figura 8, se observan los promedios de rendimiento de materia seca para los niveles de lixiviado de humus de lombriz. Donde se evidencia que con el nivel 2 (20 % de lixiviado de lombriz) se logró obtener el mayor rendimiento de materia seca con un promedio de 4.51 kg/m<sup>2</sup>; seguido por Testigo con un promedio de 4.43 kg/m<sup>2</sup>. Finalmente, el de menor rendimiento fue el nivel 4 con una media de 3.85 kg/m<sup>2</sup>.

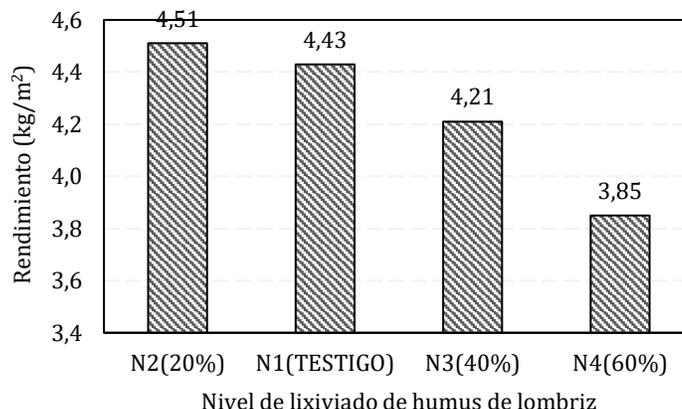


Figura 8. Rendimiento de materia seca para niveles de lixiviado de humus de lombriz.

Los autores, Tito (2016) y Moreno (2018), acotan rendimientos de 3.28 kg/m<sup>2</sup> de materia seca y 1.32 kg/m<sup>2</sup> de materia seca a diferentes tiempos.

### Análisis de efectos simples de la interacción densidades de siembra por niveles de té humus de lombriz

El análisis de varianza de efectos simples (Tabla 7), indica que los niveles de lixiviado de humus de lombriz tienen un comportamiento significativamente diferente en relación a densidad 2 (3.5 kg/m<sup>2</sup>). Pero, un comportamiento igual por efecto de densidades 1 (3 kg/m<sup>2</sup>) y 3 (4 kg/m<sup>2</sup>). Para tal registran diferencias significativas por efecto de los niveles 2 (20 % de lixiviado de humus de lombriz) y 3 (40 %). Sin embargo, no muestran diferencias frente a los niveles 1 (sin lixiviado de humus de lombriz) y 4 (60 %).

Tabla 7. Análisis de varianza de efectos simples para rendimiento de materia seca

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Pr>F
D1 (nivel)	3	0.502700	0.167567	0.12	0.9474 ns
D2 (nivel)	3	15.930967	5.310322	3.80	0.0245 *
D3 (nivel)	3	9.000892	3.000297	2.15	0.1230 ns
N1 (densidad)	2	6.297489	3.148744	2.26	0.1285 ns
N2 (densidad)	2	12.273489	6.136744	4.40	0.0248 *
N3 (densidad)	2	10.353267	5.176633	3.71	0.0410 *
N4 (densidad)	2	2.889267	1.444633	1.03	0.3720 ns

\* = significativo al 5 %; ns = no significativo.

### CONCLUSIONES

De acuerdo con la prueba de germinación, la semilla de maíz amarillo Cubano alcanzó alto porcentaje de germinación (97 %). En relación a la altura de planta, la mayor densidad de siembra (4 kg/m<sup>2</sup>) halló una mejor altura de planta. Asimismo, a un mayor nivel de lixiviado de humus de lombriz (60 %) mayor será la altura de planta. Por otra parte, las raíces se desarrollan mejor con la densidad de siembra de 3.5 kg/m<sup>2</sup> y 60 % de lixiviado de humus de lombriz. Sin embargo, las densidades de siembra y los diferentes niveles de lixiviado no influyen significativamente en el tiempo de germinación y la producción de FVH de maíz.

El rendimiento de FVH de maíz es directamente proporcional a la densidad de siembra, que significa que a mayor densidad de siembra se incrementa sustancialmente el rendimiento de forraje verde por unidad de superficie. Por otra parte, los diferentes niveles de lixiviado de humus de lombriz incrementan el rendimiento de FVH de maíz en relación al testigo.

El rendimiento de materia seca, anota que a mayor densidad de siembra (4 kg/m<sup>2</sup>) este se incrementa. Sin embargo, los mayores niveles de lixiviado de humus de lombriz influyen negativamente en el rendimiento de materia seca, esto significa que el rendimiento de materia seca es inversamente proporcional a los niveles de lixiviado. Por tanto, a mayores dosis de lixiviado de humus de lombriz en la producción de FVH menor será el rendimiento de materia seca.

Según el análisis de efectos simples para rendimientos de materia seca. Los mayores valores de materia seca se tienen con las densidades 3.5 y 4 kg/m<sup>2</sup>. El valor más alto de materia seca se obtiene con una densidad 3.5 kg/m<sup>2</sup> y 20 % de lixiviado humus de lombriz con 6.14 kg/m<sup>2</sup>.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, R.L., Maurillo, B., & Rodríguez, G. (2008). El forraje verde hidropónico (FVH): Una alternativa de producción de alimento para el ganado en zonas áridas. 34(2):121-126p.
- García, J.I. (2021). Producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* l.), cebada (*Hordeum vulgare* L.) y avena (*avena sativa* L.) en temas Caltepec, México en época de verano e invierno. 157p.
- FAO (Food and Agriculture Organization). (2001). Manual técnico de forraje verde hidropónico. 1ª ed. Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/3/ah472s/ah472s00.htm>
- López, P.J., Rodríguez, H.M., Villa, M.S., Danés, A.G., Crespo, E.C., Rosete, C.J., Ortega, J.A., & Santiago, G.A. (2013). Producción de forraje verde hidropónico. Revista Nueva Época, 13:16–26p.
- Machaca, D. (2018). Efecto de tres niveles de biol bovino en la producción de Forraje Verde Hidropónico de maíz forrajero (*Zea mays*) en la localidad de Viacha departamento de La Paz. Tesis de Licenciatura. Universidad Mayor de San Andrés. 183 p.
- Mayta, C.R. (2016). Estudio del efecto de tres sustratos en el rendimiento y calidad de la producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.) en carpa solar. Tesis de Licenciatura. Universidad Mayor de San Andrés. 77 p.
- Moreno, I. (2018). Evaluación nutricional y económica de la producción de Forraje Verde Hidropónico de maíz (*Zea mays*) empleando grano comercial. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional. 83 p.
- Ochoa R.R. (2009). Diseños Experimentales: Experimentos factoriales (Edición 1). La Paz, Bolivia. 387p.
- Orsag, V. (2009). Degradación de suelos en el altiplano Boliviano Causas y medidas de adaptación. Instituto Boliviano de Economía y Política Agraria. Vol. 1. ISSN 1999-6233.
- Paucara J. (2012). Efecto de dos soluciones nutritivas en la producción de Forraje Verde Hidropónico de maíz (*Zea mays*) con diferentes densidades de siembra, en la comunidad Totorani, La Paz. Tesis de Licenciatura. Universidad Mayor de San Andrés. 120p.
- PTDI (Plan Territorial de Desarrollo Integral), (2016). Municipio Autónomo de Laja. 180p.
- Tito, A. (2016). Evaluación de producción de Forraje Verde Hidropónico de maíz (*Zea mays* L.) con cuatro tipos de abonos orgánicos bajo ambiente atemperado en la provincia Murillo del departamento de La Paz. Tesis de Licenciatura. Universidad Mayor de San Andrés. 148p