

EVALUACIÓN DE CUATRO CONCENTRACIONES DE HIERRO (FE) EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA Y EFECTO DE LA COBERTURA PLÁSTICA EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DEL FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO (FVH)

EVALUATION OF FOUR IRON CONCENTRATIONS (FE) IN THE NUTRITIVE SOLUTION AND EFFECT OF THE PLASTIC COVERING ON THE PRODUCTION AND QUALITY OF THE HYDROPONIC GREEN FORAGE (VHF)

Franklin Eduardo Wilcox Cuervo

Universidad de Panamá. Centro Regional Universitario de Los Santos. Panamá
franklin.wilcox@up.ac.pa; <https://orcid.org/0000-0001-8617-3137>

Artículo recibido: 27 diciembre de 2022.

Artículo aceptado: 17 de febrero de 2023.

RESUMEN

El objetivo principal fue determinar los niveles adecuados de hierro en la solución nutritiva, para mejorar la producción y calidad del FVH. Se realizó en la Finca Aranda, corregimiento de Pocrí, distrito de Pocrí, provincia de Los Santos, en época de lluvia. Se utilizó una línea F2 del híbrido PIONEER 30F - 35 y Pasto seco *Digitaria swazilandensis* (Swazi). El diseño experimental es un arreglo factorial en modalidad de parcelas divididas, implementado con diseño de boques completos al azar (DBCA) y dos repeticiones. Donde el efecto de la parcela principal es el tipo de cobertura de las bandejas (Con plástico – Sin plástico); y el factor de sub-parcela es la concentración de hierro (Fe) en la solución nutritiva 0 ppm, 0.1 ppm, 0.5 ppm y 1 ppm. Como resultado se obtuvo que: para la altura a los seis días la concentración de 0 ppm y la cobertura plástica presentan la mayor media. En cuanto a las altura, a los 12 días, la concentración de 0.5 ppm conjuntamente con la cobertura plástica presenta la mayor media. La concentración de 0 ppm y la cobertura plástica presenta la mayor media para la producción de biomasa. En la concentración de hierro, la media más alta, se presentó en 1 ppm sin cobertura plástica. En los análisis bromatológicos, la concentración de Ca, P, Mn se encuentran en rangos aceptables; en Na, K y el Cu se encuentran en niveles por debajo del requerido en la producción de carne y leche. Concluyendo que, la concentración de 0.5 ppm, conjuntamente con la cobertura plástica presentaron las mejores medias y sanidad.

Palabras clave. Altura, biomasa, bromatológico maíz, rendimiento.

ABSTRACT

The main objective was to determine the adequate levels of iron in the nutrient solution, to improve the production and quality of FVH. It was carried out at Finca Aranda, corregimiento de Pocrí, District of Pocrí, Province of Los Santos, during the rainy season. An F2 line of the hybrid PIONEER 30F-35 and *Digitaria swazilandensis* (Swazi) dry grass was used. The experimental design is a factorial arrangement in split plot modality, implemented with a randomized complete forest design (DBCA) and two repetitions. Where the effect of the main plot is the type of cover of the trays (With plastic – Without plastic); and the sub-plot factor is the concentration of iron (Fe) in the nutrient solution 0 ppm, 0.1 ppm, 0.5 ppm and 1 ppm. As a result, it was obtained that: for the height at six days the concentration of 0 ppm and the plastic cover present the highest mean. Regarding the height, at 12 days, the concentration of 0.5 ppm together with the plastic cover presents the highest average. The concentration of 0 ppm and the plastic cover presents the highest mean for biomass production. In the iron concentration, the highest mean, it was presented in 1 ppm without plastic cover. In the bromatological analyses, the concentration of Ca, P, Mn is within acceptable ranges; in Na, K and Cu are at levels below that required in the production of meat and milk. Concluding that the concentration of 0.5 ppm, together with the plastic cover presented the best averages and health.

Keywords. Height, biomass, corn bromatological, yield.

INTRODUCCIÓN

El MIDA (2009) expresa que el mayor crecimiento de la población a nivel mundial, hace necesario que nuestros países realicen esfuerzos para lograr una mayor producción y productividad de carne vacuna y de leche para satisfacer la demanda creciente por estos productos. Para lograr este objetivo, los países deben elaborar y desarrollar políticas y estrategias para reducir la brecha entre la oferta y la demanda de estos productos. Por lo cual, a nivel mundial la producción agropecuaria debe estar orientado a aumentar los rendimientos en menos espacio, el uso racional del recurso agua y una producción amigable con el ambiente, haciendo de esta sostenible, económica y ecológica (IICA, 1989).

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2001) indica que el forraje verde hidropónico (FVH) es una tecnología de producción de biomasa vegetal obtenida a partir del crecimiento inicial de las plantas en los estados de germinación y crecimiento temprano de plántulas a partir de semillas viables. El FVH o “green fodder hydroponics” en un pienso o forraje vivo, de alta digestibilidad, calidad nutricional y muy apto para la alimentación animal.

Aunado a esto, Samperio (2001) menciona que este método de producción de forraje se puede realizar en campo abierto, invernaderos, bodegas, azoteas, pasillos, terrazas o cualquier espacio del que se pueda disponer, dependiendo: pequeña, mediana o comercial.

El FVH consiste en la germinación de granos (semillas de cereales o de leguminosas) y su posterior crecimiento bajo condiciones ambientales controladas (luz, temperatura y humedad) en ausencia del suelo. Usualmente se utilizan semillas de avena, cebada, maíz, trigo y sorgo (FAO, 2001).

El FVH es un forraje de alta calidad, superior a otros forrajes, el cual se suministra al ganado en forma completa (hojas, tallos, semillas y raíces) constituyendo una completa fórmula de carbohidratos, azúcares, proteínas, minerales y vitaminas. Su aspecto, sabor, color y textura le confieren gran palatabilidad, a la vez que aumenta la asimilación de otros alimentos (Chavarría et al, 2018).

El FVH es un sistema de producción de biomasa vegetal de alta sanidad y calidad nutricional producido muy rápidamente (nueve a quince días), en cualquier época del año y en cualquier localidad geográfica, siempre y cuando se establezcan las condiciones mínimas necesarias para ello. La tecnología FVH es complementaria y no competitiva a la producción convencional de forraje a partir de especies aptas (avena, mezclas de trébol y gramíneas, alfalfa, etc.) para cultivo forrajero convencional (Izquierdo, 2002).

López et al (2009) nos dice que un sistema de producción agropecuario sostenible debe mejorar o al menos mantener los recursos naturales sin devaluarlos, y no generar situaciones que disminuyen la actividad ganadera, como por ejemplo la contaminación. Consecuentemente, la búsqueda de metodologías alternativas de producción de forraje en las cuales se considere el ahorro de agua, altos rendimientos por m² ocupado, calidad nutricional, flexibilidad en la transferencia y mínimos impactos negativos sobre el medio ambiente es de particular importancia.

De forma complementaria, Rodríguez (2002) expresa que el FVH puede producirse utilizando una buena variedad de unidades hidropónicas, en donde se colocan hasta seis bandejas una sobre la otra, dejando un espacio de al menos treinta centímetros; dependiendo del clima, la semilla permanece en la bandeja de doce a dieciocho días.

La fertilización se realiza elaborando soluciones nutritivas. Todas las sales utilizadas para la preparación de la solución nutritiva deben ser de alta solubilidad, ya que en caso contrario se formarían precipitados. Este fenómeno es un factor negativo para el cultivo de FVH, dado que a consecuencia de ello se producen carencias nutricionales de algunos elementos (Sánchez, 2001).

Es imperante considerar que el aporte de proteínas en la alimentación animal es considerado el factor más costoso dentro de la producción pecuaria. El forraje Verde Hidropónico (FVH) por ser una fuente rica en proteínas y su bajo costo, es una alternativa a la suplementación durante la época seca muy marcada en la Península de Azuero y en la disminución de los costos de producción.

Las investigaciones de Guerra (2006), Rodríguez (2007a) y Rodríguez (2007b) con la fertilización utilizada, reflejan un balance nutricional en la mayoría de los nutrientes del FVH; sin embargo, el hierro (Fe) se reportó en altos niveles de acuerdo a los establecidos en tablas de requerimientos de la National Research Council (N.R.C., 1988 – 1989) para ganado; ya que, el exceso o deficiencia de hierro se consideran como perjudiciales en la producción de cultivos, por ser antagonista con otros elementos o causar daños fisiológicos directos.

El objetivo de esta investigación es mejorar la producción y calidad del FVH, determinando los niveles adecuados de Fe en la solución nutritiva.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

La investigación se realizó en la Finca ARANDA, corregimiento de Pocrí, distrito de Pocrí, provincia de Los Santos (7° 38' 56" N y 80° 04' 48" O) a unos 11 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m); desde el 11 al 22 de septiembre 2021

Metodología

Siembra

Para esta investigación, se utilizó un invernáculo de cañaza de cuatro metros de ancho por cuatro metros de largo y 2.70 metros de alto, el cual fue cubierto con una maya de zarán de 50 % de sombra en su parte superior y laterales.

Al igual que en la investigación realizada por Rodríguez (2007a) y Rodríguez (2007b), se utilizó un anaquel de 3 niveles, el cual tiene un espaciamiento entre niveles de 0.50 metros y una capacidad de 8 bandejas por nivel, con un total de 24 bandejas en la totalidad de la investigación. El distanciamiento del nivel superior del anaquel al zarán es de 1.20 metros.

Durante los primeros 6 días se utilizó una cobertura de zarán de 80 % de sombra atendiendo a los mejores resultados de crecimiento inicial en la investigación realizada por Guerra (2006), y protección de las plántulas del quemado por la luz solar, reportado por Rodríguez (2007a) y Rodríguez (2007b).

Las bandejas utilizadas para la siembra tienen una dimensión de 0.60 metros de ancho y un metro de largo, lo cual representa un área por bandeja de 0.60 metros cuadrados y un área total de investigación de 14.4 metros cuadrados.

La semilla utilizada en la investigación fue una línea F2, del híbrido P30 F – 35 PIONNER. Las semillas antes de ser colocadas en las bandejas son sometidas a un proceso de pre germinación en agua aireada por veinticuatro.

Fertilización

Para la preparación de la solución nutritiva se utilizó la metodología reportada por Rodríguez (2007b); a esta solución nutritiva se le realizan 3 variaciones en el hierro con respecto a la concentración original (Tabla 1).

Tabla 1

Concentración de Fe en la solución nutritiva utilizando sulfato de hierro.

Concentración de Fe en ppm				
Contenido (g)	Solución madre (ppm)	Dilución 1 (ppm)	Dilución 2 (ppm)	
0	0	0	0	
0.5	51	0.10	0.03	
2.5	255	0.51	0.13	
5.0	510	1.02	0.26	

Las fórmulas de fertilizantes utilizadas en la preparación de la solución madre fueron obtenidas en el mercado local, igualando las reportadas en la metodología de Rodríguez (2007b).

Para la preparación de la solución nutritiva de riego, se mezclan 5 ml de solución concentrada A y 2 ml de la solución concentrada B, para preparar un litro de solución madre (Rodríguez, 2007b).

Tomando en cuenta que la aportación diaria en partes por millón (ppm) de la solución fuese correspondiente a la concentración de hierro indicada, la solución madre se dividió en dos partes (500 ml cada una) y luego se aforo a 1 L., esta disolución fue utilizada para el riego del FVH.

Diseño experimental.

En este estudio se utilizó un arreglo factorial en modalidad de parcelas divididas, implementado en un diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) (Kuehl, 2001).

El factor de la parcela principal o factor “A” es tipo de cobertura de las bandejas, con dos niveles: a_1 = con plástico y a_2 = sin plástico.

El factor de la sub-parcela o factor “B” es la concentración de hierro (Fe) en la solución madre, a cuatro niveles: $b_1 = 0g$, $b_2 = 0.5g$, $b_3 = 2.5g$, $b_4 = 5.0g$.

Se consideró como unidad experimental cada bandeja con dimensiones de un metro de largo x 0.60 metros de ancho. El criterio de bloque o criterio para agrupar las bandejas en tres bloques, está representado por la presencia de tres niveles separados a 0.50m uno de otro dentro del anaquel.

El Modelo Lineal Aditivo para este experimento es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + C_j + (BC)_{ij} + F_k + (CF)_{jk} + E_{ijk}$$

Los parámetros evaluados o variables de respuesta cuantificados son:

- Producción de biomasa (kg/m^2).
- Altura (cm).
- Relación semilla forraje Kg/bandeja.
- Concentración del elemento Hierro (Fe) en ppm.

Se efectuaron análisis bromatológicos, observaciones de tipo fitopatológicas (sólo el diagnóstico), observación de daños fisiológicos y el costo de producción.

Para el análisis de los datos, los mismos se organizaron en excel y se realizó el análisis de varianza a través de la prueba de ANOVA y para la comparación de medias se aplicó la prueba de rangos de Tukey utilizando el paquete estadístico Statistical Package for Social Sciences (SPSS 21), en todos los casos con un nivel de significancia de 0.05 (Pérez, 2001).

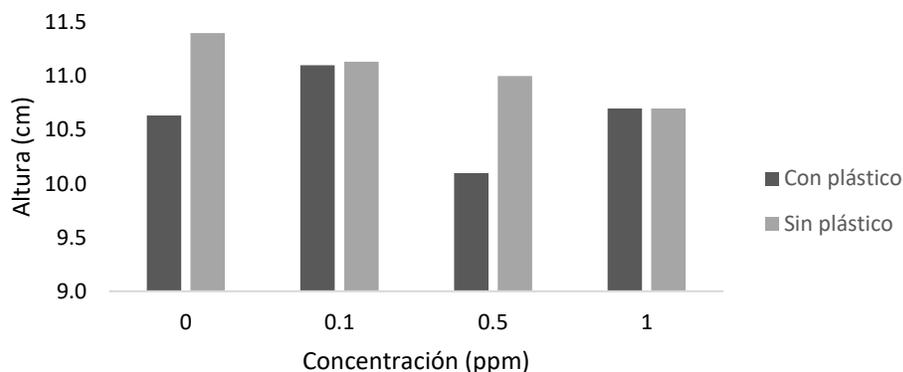
RESULTADOS

Altura a los 6 días

El análisis de varianza, indica que hubo diferencias significativas entre los bloques (BLO) ($P = 0.0284$). Tabla 2). Por el contrario, para los factores cobertura, concentración independientemente de la cobertura y la interacción cobertura*concentración no existió diferencia significativa Figura 1).

Figura 1

Altura promedio del FVH a los seis días.



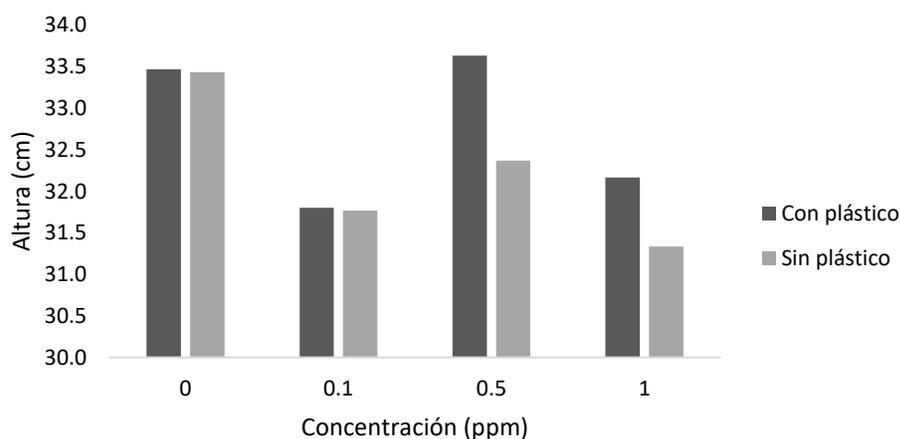
Altura a los 12 días.

Los resultados obtenidos del análisis de varianza para la altura del FVH a los doce días indican que no hay diferencias significativas para ninguna de las variables (Tabla 2).

Donde, el mayor promedio para la variable altura, independientemente de la concentración lo obtuvo la cobertura con plástico con 32.76 cm. De igual forma, el mayor valor encontrado en esta variable, independientemente de la cobertura, fue obtenido por la concentración de 0 ppm con 33.45 cm; siguiendo en orden descendente por la concentración 0.5 ppm con 33.0 cm de altura, 0.1 ppm con 31.78 cm y 1 ppm con 31.75 cm (Figura 2).

Figura 2

Altura promedio del FVH a los doce días.



Producción de biomasa

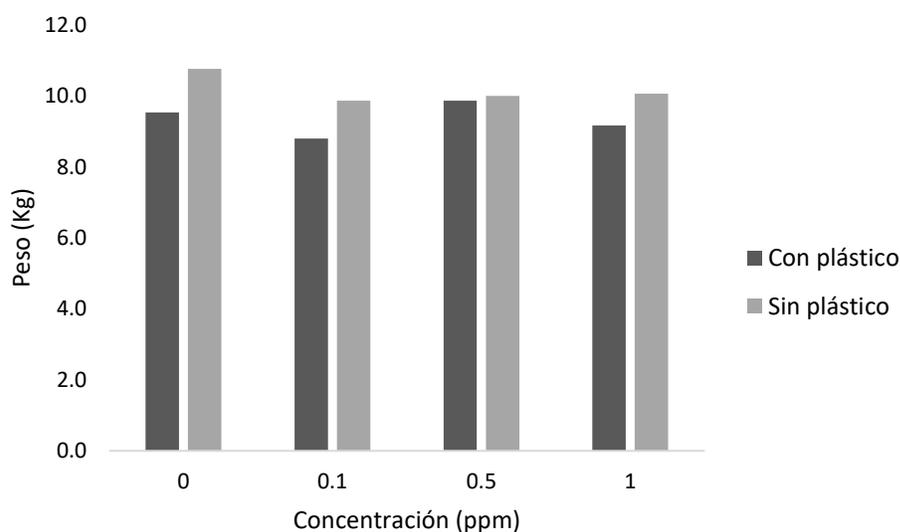
Existe diferencia significativa entre los bloques ($P = 0.0318$). Los cuales mostraron el mismo efecto que para la variable altura a los 6 días, donde el bloque III expuesto a mayor luminosidad, presenta promedios más altos en comparación con el bloque I y II (Tabla 2).

La prueba de comparación de medias de rangos múltiples de Tukey, indica que no se observó diferencia significativa entre los factores de cobertura, obteniendo el mejor rendimiento de peso de FVH las bandejas sin plástico con 10.175 kilogramos (Kg)/m². Con respecto a las concentraciones de hierro, no se observó diferencia significativa en la utilización de plástico. Ahora bien, existe diferencias significativas entre los factores de concentración de Fe, obteniendo la mayor producción de biomasa en la concentración 0 ppm con 10.15 Kg/m², no encontrándose diferencias significativas con el resto de los factores, a excepción de la concentración 0.1 ppm, la cual obtuvo el menor rendimiento con 9.21 Kg/m² (Tabla 3).

Por otro lado, no existe diferencia significativa en la interacción cobertura* concentración, sin embargo, el tratamiento 0 ppm sin plástico obtuvo el mayor rendimiento de biomasa con 10.76 Kg/m² seguido en orden descendente por 1 ppm sin plástico > 0.5 ppm sin plástico > 0.1 ppm sin plástico = 0.5 ppm con plástico, con 10.06 Kg/m², 10.00 Kg/m², 9.86 Kg/m² y 9.86 Kg/m² respectivamente (Figura 3).

Figura 3

Peso promedio en kilogramos a los doce días.



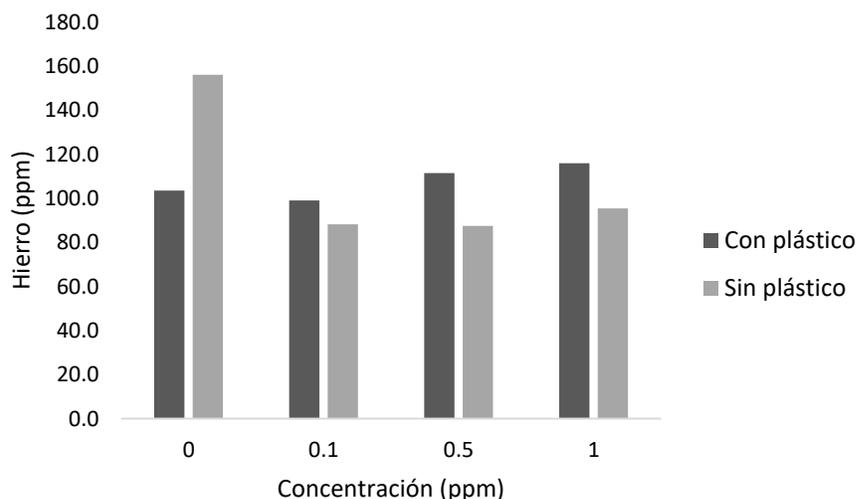
Concentración de hierro (Fe) en los tejidos del FVH.

En el análisis de varianza para la concentración de hierro en los tejidos del FVH, no reflejó diferencias significativas entre los bloques ($P = 0.0527$). De igual forma, no se presenta significancia en el resto de las variables. El coeficiente de variación en este análisis fue un poco alto pero tomando en consideración que no existe grandes diferencias significativas, el mismo se considera aceptable (Tabla 2).

Los niveles de Fe más altos en la materia seca del FVH se observó en los tratamientos con plástico (C-P), existiendo una diferencia de 1.16 veces, más concentración que los encontrados en el tratamiento sin plástico (S-P).

No se encontró diferencia significativa en la comparación de medias (Tabla 2), para los tratamientos de cobertura y concentración, encontrándose los mayores valores en la utilización de plástico a 1 ppm. Se observó la misma tendencia que en las variables altura y peso, donde no se encontró diferencia significativa en la interacción cobertura* concentración presentada el mayor promedio de concentración en los tejidos del tratamiento C-P 1 ppm (Figura 4).

Figura 4
Concentración promedio de hierro en los tejidos del FVH.



Relación semilla forraje

En el análisis estadístico para la relación semilla/forraje, no se presentaron diferencias significativas entre los bloques; de igual forma, para el resto de las variables no se presentó diferencias significativas (Tabla 2).

En los resultados de la prueba de comparación de medias (Tabla 3), para la variable cobertura no existen diferencias significativas obteniendo la mayor media el tratamiento sin plástico con 5.67 Kg/bandeja. Por otro lado, para la variable concentración tampoco hay diferencias significativas, teniendo la mayor media la concentración de 0 ppm con 5.65 Kg/bandeja.

Igual tendencia se observó en la interacción cobertura*concentración, siendo el tratamiento sin plástico conjuntamente con la concentración de 0 ppm el de mayor relación con 6 Kg/bandeja. (Figura 5).

Figura 5
Relación Promedio Semilla/Forraje

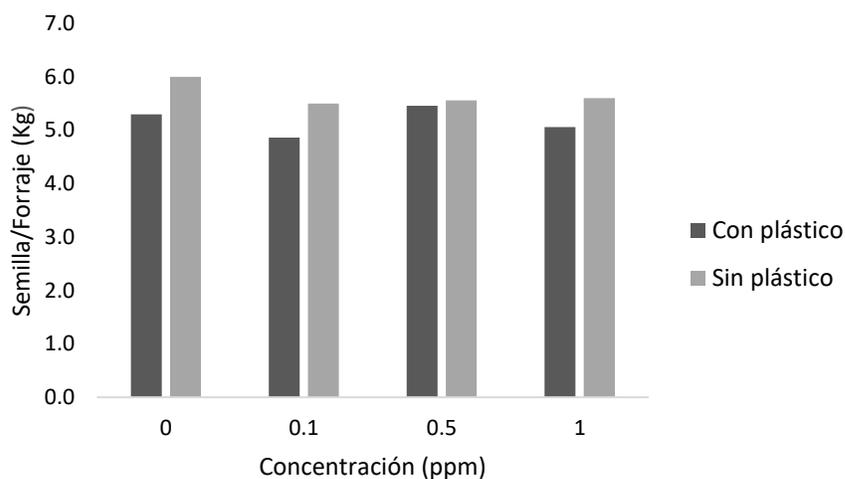


Tabla 2
Anova de las variables en estudio.

Parámetro	Altura 6 días	Altura 12 días	Peso/Kg	Semilla/forraje	C.V.
FV	Pr > F	Pr > F	Pr > F	Pr > F	6.82%
Bloques	0.958 NS	0.031*	0.0527 NS	0.3692 NS	*
Cobertura	0.387 NS	0.001**	0.1429 NS	0.1202 NS	
Error (a)	0.385 NS	0.062 NS	0.6201 NS	0.1801 NS	
Concentración	0.162 NS	0.046*	0.3823 NS	0.1230 NS	
COB * CON	0.854 NS	0.246 NS	0.2749 NS	0.4161 NS	
Error (b)					
Total					

Diferencia significativa

** = Diferencia altamente significativa

NS = No hubo diferencia significativa

Tabla 3

Efecto de la cobertura y la concentración de Fe en la solución para el desarrollo morfológico de la planta de maíz como FVH.

Tratamiento	Peso en Kg.		Altura 6 días (cm.)		Altura 12 días (cm.)		Conc. de Fe (ppm.) ++		Rel. +++ Sem/forraje	
Cobertura										
Sin plástico (S-P)	10.17	A	11.07	A	32.23	A	88.88	A	5.66	A
Con plástico (C-P)	9.29	A	10.64	A	32.77	A	102.83	A	5.17	A
Concentración										
C1 0 ppm.	10.15	A	11.02	A	33.45	A	90.47	A	5.65	A
C2 0.1 ppm	9.22	B	11.12	A	31.78	A	86.54	A	5.18	A
C3 0.5 ppm	9.93	B	10.55	A	33.00	A	100.75	A	5.51	A
C4 1 ppm	9.63	B	10.73	A	31.75	A	105.67	A	5.33	A
Interacción COB * CON										
C-P										
C1	9.53	A	10.63	A	33.47	A	82.33	A	5.30	A
C2	8.57	A	11.10	A	31.80	A	99.08	A	4.86	A
C3	9.87	A	10.10	A	33.63	A	114.00	A	5.46	A
C4	9.20	A	10.73	A	32.17	A	115.91	A	5.06	A
S-P										
C1	10.77	A	11.40	A	33.43	A	98.61	A	6.00	A
C2	9.87	A	10.73	A	31.77	A	74.00	A	5.50	A
C3	10.00	A	11.13	A	32.67	A	87.50	A	5.56	A
C4	10.07	A	11.00	A	31.33	A	95.41	A	5.60	A

++Concentración de hierro en los tejidos del FVH.

+++Relación basada en el peso obtenido de forraje por cada libra de semilla de maíz.

Tabla 4

Resultados del análisis bromatológico del FVH con sustrato

Parámetros	Uni.	S-P	C-P	S-P	C-P	S-P	C-P	S-P	C-P
		C1	C1	C2	C2	C3	C3	C4	C4
Mat. Seca	%	94.10	93.92	92.57	92.57	91.92	88.06	94.18	94.48
Mat. orgánica	%	88.38	84.48	87.03	89.03	86.49	83.00	88.26	89.68
Ceniza	%	5.72	5.44	5.54	4.54	5.43	5.06	5.92	4.80
Fibra cruda	%	17.38	20.82	16.50	16.36	18.84	17.16	17.52	18.66
Grasas	%	3.31	3.05	3.11	3.13	3.62	3.38	3.08	3.04
Nitrógeno	%	2.38	0.33	2.04	1.93	1.29	1.74	1.90	1.71
Proteína	%	14.88	2.08	12.78	12.08	8.08	10.85	11.90	10.68
Humedad	%	5.90	6.08	7.43	7.43	8.08	11.94	5.82	5.52
Calcio	%	0.33	0.55	0.43	0.37	0.48	0.33	0.70	0.40
Magnesio	%	0.32	0.40	0.24	0.35	0.30	0.23	0.49	0.26
Fósforo	%	0.59	0.52	0.54	0.47	0.56	0.49	0.52	0.49
Potasio	%	0.62	0.54	0.35	0.47	0.53	0.50	0.63	0.39
Sodio	%	0.081	0.081	0.012	0.072	0.0005	0.008	0.012	0.062
Hierro	ppm.	77.25	85.75	41.25	67.50	63.50	126.00	47.50	72.50
Cobre	ppm.	0.50	0.25	0.00	0.25	0.25	3.75	0.50	0.00
Manganeso	ppm.	18.75	18.75	17.50	16.75	19.00	0.50	21.25	14.75
Zinc	ppm.	396.50	54.00	276.25	44.50	328.25	39.50	84.50	42.50

S-P: Sin plástico.

C-P: Con Plástico.

C1: 0 ppm, C2: 0.1 ppm, C3: 0.5 ppm, C4: 1 ppm.

DISCUSIÓN

A pesar de existir diferencia significativa para la variable altura a los 6 días, en el análisis estadístico de la altura a los 12 días, no existió diferencia significativa para ninguno de los parámetros en estudio, lo que indica que, aunque se presentó diferencia al inicio del desarrollo, se logra uniformidad al término del ciclo de cultivo. Más, sin embargo, al considerar la producción de biomasa si existió diferencia significativa entre los bloques.

Por otro lado, en la tabla 4 se observa que los resultados obtenidos en esta investigación para la concentración de hierro en los tejidos del FVH, se exceden levemente a los datos medios de tolerancia del Subcommittee on Mineral Toxicity in Animals (1980) para ganado vacuno, aviar y porcino; sin embargo, indistintamente del tratamiento, todos los resultados están dentro del rango tolerable. Contrario a los resultados obtenidos por Rodríguez (2007a) y Guerra (2006) quienes obtuvieron valores de hasta 2,249 ppm en sus investigaciones, valores muy por encima de lo establecido por la N.R.C.

Los niveles de calcio en los tejidos del FVH se presentan aceptables, tomando en consideración los requerimientos minerales para ganado de carne y leche dispuestos en las tablas de la N.R.C., a excepción de los tratamientos C-P 0 ppm y S-P 1 ppm que se encuentran ligeramente por encima de los requerimientos. El fósforo presenta para todos los tratamientos niveles dentro del rango fijados por la N.R.C.

La concentración de magnesio encontrada en los tejidos del FVH para todos los tratamientos está ligeramente por encima de los requerimientos determinados por la N.R.C. (1988). Por el contrario, el potasio en la mayoría de los tratamientos se encuentra ligeramente por debajo del requerimiento mineral estipulados por la N.R.C., exceptuando por los tratamientos sin plástico 0 ppm y sin plástico 1 ppm los cuales están dentro del rango permisible.

Mientras que, para el sodio y el manganeso, se encontró que, para todos los tratamientos, la concentración de estos elementos se encuentra ligeramente por debajo de lo permisible para la alimentación mineral de animales presentados en las tablas de la N.R.C. Así mismo, los niveles de cobre resultaron muy por debajo de los requerimientos previstos en las tablas de la N.R.C.

En resumen, el costo por metro cuadrado de invernáculo más las bandejas de producción (24 bandejas) fue de 17.00 balboas, totalizando 244.70 balboas los 14.4 m² del proyecto (Tabla 5).

Ahora bien, considerando la totalidad de la biomasa producida y el costo total del ensayo, se tiene que por cada Kg de biomasa se invirtió 1.05 balboa, para la primera cosecha. Cabe destacar que, la infraestructura puede durar de acuerdo al tratamiento que se le dé a la caña como mínimo catorce meses, por lo cual, el costo posterior se verá drásticamente reducido.

Finalmente, en una producción intensiva, tomando en consideración las mismas dimensiones y resultados de producción de biomasa de esta investigación, se tendría un rendimiento de 7020 kilogramos / año / 14.4 metros cuadrados.

Tabla 5
Análisis económico.

Detalles	Cantidad	Precio por unidad (B/.)	Total (B/.)
Semilla	1 qq.	15.00	15.00
Bolsas plásticas	2 paquetes	2.75	5.50
Sustrato	2 pacas	3.00	6.00
Zarán	16 m ²	4.50	90.00
Henequén	12 sacos	1.25	15.00
Infraestructura	10 cañas	1.00	10.00
Marcos	24	2.50	60.00
Lámina de aluminio	14.4 m ²	3.00	43.20
Sub-total			244.70
Fertilizantes solubles			
Nitrato de potasio	110 g.	0.005	0.60
Nitrato de amonio	70 g.	0.001	0.07
Superfosfato triple	32.20 g.	0.009	0.29
Sulfato de magnesio	88 g.	0.002	0.19
Sulfato de hierro	8 g.	0.007	0.06
Sulfato de manganeso	1.15 g.	1.33	1.53
Ácido bórico	0.75 g.	0.005	0.004
Sulfato de zinc	0.425 g.	0.004	0.002
Sulfato de cobre	0.25 g.	0.004	0.001
Sub-total			2.74
Total			247.44

CONCLUSIONES

El objetivo principal fue determinar los niveles adecuados de hierro en la solución nutritiva, para mejorar la producción y calidad del FVH.

En términos generales, la mayoría de los elementos presentaron valores bajos en comparación con los resultados obtenidos por Guerra (2006), Rodríguez (2007a) y Rodríguez (2007b). Considerando el objetivo principal de esta investigación, la concentración de hierro en los tejidos del FVH excedieron levemente a los niveles medios de tolerancia del Subcommittee on Mineral Toxicity in Animals (1980).

Dando como resultado que, el porcentaje de materia seca se mantuvo estable en todos los tratamientos y existió un incremento en la relación semilla forraje, en comparación con los mayores valores obtenidos por Rodríguez (2007a), Rodríguez (2007b) y Guerra (2006), del 59.4 por ciento en la producción de FVH, utilizando las mismas concentraciones en la solución nutritiva.

Debe realizarse investigaciones sobre diferentes estructuras de anaquel con la finalidad evaluar la productividad de FVH en diferentes configuraciones de uso de espacio físico e implementar el uso de fertilizantes comerciales para facilitar la transferencia de esta tecnología.

Es recomendable realizar la producción de FVH durante la época seca o bajo condiciones controladas para obtener mejores resultados; ya que, bajo condiciones de lluvia a campo abierto se dificulta la fertilización líquida y aumenta la probabilidad de acumulación de humedad en las raíces causando pudrición.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chavarría, A. y Castillo, S. (2018). El forraje verde hidropónico (FVH), de maíz como alternativa alimenticia y nutricional para todos los animales de la granja. *Revista Iberoamericana de bioeconomía y cambio climático*, 4(8), 1-5. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v4i8.6716>
- Guerra, A. (2006). *Efectos de tres intensidades lumínicas sobre la producción y calidad del forraje verde hidropónico* [Tesis de Licenciatura]. Universidad de Panamá, FCA.
- Izquierdo, J. (2002). *El forraje verde hidropónico (FVH) como tecnología apta para pequeños productores agropecuarios* [Archivo PDF]. <https://goo.su/HiTasSI>
- Kuehl, R. (2001). *Diseño de experimentos principios estadísticos para el diseño y análisis de investigación* (2ª ed.). Thomson Editores, México.
- López, R. Murillo, B. y Rodríguez, G. (2009). *El forraje verde hidropónico (FVH): una alternativa de producción de alimento para el ganado en zonas áridas*. <http://ve.scielo.org>
- Ministerio de Asuntos Extranjeros de Francia, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (1989). *Compendio de agronomía tropical*. IICA/Colección investigación y Desarrollo No. 13.
- Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA). Secretaría Técnica. Programa Nacional de Zonificación Agro-Ecológica, (2009). *Resultados de la zonificación agro-ecológica de 20 especies de pastos y forrajes en la República de Panamá* [Archivo PDF]. <https://goo.su/TM66KZ>
- National Research Council. 1980. *Mineral Tolerance of Domestic Animals*. The National Academies Press [Archivo PDF]. Recuperado de. <https://goo.su/vW0Ysw>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2001). *Forraje verde hidropónico. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe* [Archivo PDF]. <https://goo.su/7QH3Ba>
- Pérez López, C. (2001). *Técnicas estadísticas con SPSS*. Pearson Educación.
- Rodríguez, G. (2002). *Forraje verde hidropónico*. [Tesis de maestría]. Universidad Autónoma Chihuahua. <http://www.Uach.mx/>

Rodríguez, M. (2007a). *Evaluación de tres densidades de siembra, tres periodos de cosecha y la utilización de un sustrato vegetal, en la producción de forraje verde hidropónico* [Tesis de Licenciatura]. Universidad de Panamá, FCA.

Rodríguez, R. (2007b). *Evaluación de tres densidades de siembra, tres periodos de fertirriego y tres concentraciones de la solución, en la producción de forraje verde hidropónico*. [Tesis de Licenciatura]. Universidad de Panamá, FCA.

Samperio, G. (2001). *Hidroponía básica*. (9ª ed.). Editorial Diana.

Sánchez, A. (2001). *Manual técnico para la producción de forraje verde hidropónico*. FAO. [Archivo PDF]. <https://goo.su/gjilY>