

Evaluación de diferentes sistemas de producción de biomasa hidropónica de maíz

Evaluation of different biomass production systems hydroponic corn

Néstor Vicente Acosta Lozano¹, Raciél Lima Orozco², Andrés Castro Alegría², Juan Humberto Avellaneda Cevallos³, Yuinson Gregorio Suárez Reyes¹

¹ Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP). Campus La Libertad, vía principal Santa Elena- La Libertad, Ecuador. CP 240350.

² Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP), Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas (UCLV). Carretera a Camajuaní km 5 ½. Santa Clara, Villa Clara, Cuba, CP 54830.

³ Laboratorio de Rumiología, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. km 5 ½ vía Quevedo – Mocache – Ecuador. CP 120552.

E-mail: acoslones@yahoo.es; nacosta@upse.edu.ec; raciello@uclv.edu.cu; juan_avellaneda@hotmail.com

RESUMEN. Se evaluó el efecto de tres soluciones nutritivas (Hoagland, La Molina y FAO) y tres momentos de cosecha (12, 15 y 18 días) sobre el rendimiento y valor nutritivo de la biomasa hidropónica de maíz (*Zea mays*, L.). El experimento se desarrolló en la finca “La Sevilla”, situada en la comuna San Marcos, cantón y provincia de Santa Elena, Ecuador. Las semillas de maíz (2,5 kg/m²) fueron lavadas, desinfectadas y remojadas durante 24 horas, se colocaron en bandejas de germinación (1 x 1 x 0,04 m) y se sometieron a oscuridad durante 3 días. Se aplicó un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial sin interacción 4 x 3 (3 soluciones nutritivas + 1 Control (agua) x 3 tiempos de cosecha) y 3 repeticiones por cada tratamiento. Se realizaron seis riegos por día (8, 10, 12, 14, 16 y 18 h) de un minuto/unidad experimental. Los mayores rendimientos en términos de materia seca (137 y 114 kg MS/m²/año) y proteína bruta (21,3 y 15,5 kg PB/m²/año) se lograron con las soluciones Hoagland y FAO a los 12 días de cosecha, respectivamente. Se concluye que la mejor edad de cosecha independientemente de la solución nutritiva empleada fue a los 12 días y en todas las edades las soluciones de Hoagland y FAO mostraron los mejores resultados agronómicos y bromatológicos.

Palabras clave: Forraje verde hidropónico, soluciones nutritivas, valor nutritivo

ABSTRACT. It was assessed the effect of three nutritive solutions (Hoagland, La Molina y FAO) and three harvesting time (12, 15 and 18 days) on forage yield and nutritive value of green fodder hydroponic from maize (*Zea mays*, L.). The experiment was developed in “La Sevilla” farm placed in San Marcos town, municipality and province of Santa Elena, Ecuador. The maize seeds 2,5 kg/m² were washed, disinfected, soaked during 24 hours and placed in germination plates (1 x 1 x 0,04 m) in dark condition during three days. It was applied to a fully randomized design with factorial arrangement without interaction 4 x 3 (3 nutritive solutions + 1 control (water) x 3 harvesting time) and 3 repetitions per treatments. The highest yields in terms of dry matter (137 and 114 kg DM/m²/year) and crude protein (21,3 y 15,5 kg CP/m²/year) were reached with the Hoagland and FAO solutions at 12 days of age, respectively. It was concluded that the best harvesting time independently of the nutritive solution was at 12 days and in all harvesting time the Hoagland and FAO solutions showed the best agronomic and chemical results.

Keywords: Green fodder hydroponic, nutritive solutions, nutritive value

INTRODUCCIÓN

Las condiciones de baja precipitación en la Península de Santa Elena, no permiten el crecimiento adecuado de pastizales para alimentación de rumiantes, este antecedente se repite cada año manteniendo niveles de

producción muy bajos en comparación con otras zonas ecológicas del Ecuador (Cruz-Domínguez, 2015). El manejo extensivo del ganado caprino que predomina, ocasiona que los animales busquen alimento recorriendo grandes extensiones de

tierra, con el consecuente incremento de sus requerimientos nutritivos. El empleo de la hidroponía se muestra como una alternativa para la región, especialmente la producción de biomasa hidropónica de maíz (BHM) en la producción y alimentación de caprinos criollos, al presentar menor dependencia frente a condiciones climatológicas, disponibilidad de terreno y uso eficiente del agua (López *et al.*, 2009).

La BHM se caracteriza por crecer en bandejas con sistemas de riego adecuados que permiten proporcionarle a las plantas la cantidad suficiente de agua que garanticen su crecimiento y desarrollo para ser cosechadas en estadios tempranos de crecimiento, donde presentan excelente calidad nutricional y buena palatabilidad para los animales (López-Acosta *et al.*, 2011). Tomando en cuenta dichos antecedentes el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de tres soluciones nutritivas y tres momentos de cosecha sobre el rendimiento y calidad nutricional de la biomasa hidropónica de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en la finca ganadera La Sevilla, situada en la comuna San Marcos, parroquia Colonche, cantón y provincia de Santa Elena, Ecuador (05°41' 54" de latitud Sur y 97° 77' 35" de longitud Oeste), la temperatura promedio anual de 28 °C, precipitación anual de 283 mm, humedad relativa del 64 % y una altura de 13 msnm (INAMHI, 2015).

Materiales y equipos

Se utilizó semillas de maíz (*Zea mays* L.) cultivar Agri 104 (2,5 kg/m²), una nave de germinación y producción de BHM, balanza analítica, balanza electrónica, soluciones nutritivas, hipoclorito de sodio. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial sin interacciones 4 x 3 (3 soluciones nutritivas + 1 Control x 3 momentos de cosecha) x 3 repeticiones por cada tratamiento, los resultados fueron analizados mediante el análisis de varianza (ANOVA) de clasificación simple soportado en el SPSS versión 21 (IBM Corp, 2012) y en aquellos casos que el ANOVA fue significativo las diferencias entre medias fueron analizadas mediante la prueba de Tukey (1949). Se evaluaron tres soluciones nutritivas estandarizadas: Hoagland (Llanos-Peada, 2001); La Molina (Rodríguez-Delfín y Chang, 2012) y FAO (Marulanda e Izquierdo, 2003) más un

Control (agua corriente) y tres momentos de cosecha (12, 15 y 18 días postgerminación). Además: Altura de plantas, cada dos días después de la germinación hasta el día de la cosecha; Producción de biomasa (kg/m²) el contenido total de todas las unidades experimentales (bandejas) fue pesado al momento de cosecha para determinar el rendimiento forrajero. Igualmente, se estimó la producción anual (kg/m²/año) de materia seca, materia orgánica y proteína bruta de la biomasa hidropónica de maíz a los 12 (30 cosechas), 15 (24 cosechas) y 18 (20 cosechas) días. Un día antes de la cosecha se suspendió el riego para evitar que la humedad aumente su peso final, se tomó 1 kg de cada unidad experimental, las muestras en triplicado fueron secadas a 65 °C durante 72 h para luego realizar el análisis proximal de Weende y otras determinaciones. Seguidamente el material secado fue molido a 1 mm y se depositaron 500 g de cada muestra en bolsas plásticas herméticas, las que se almacenaron a temperatura ambiente (25 ± 3 °C) hasta su posterior análisis. Las muestras fueron analizadas en duplicado para materia seca (MS), extracto etéreo (EE), proteína bruta (PB), y materia orgánica (MO) AOAC (1995). La fibra detergente neutro (FDN) fue analizada y expresada exclusiva de ceniza residual, para facilitar el proceso se empleó una amilasa termoestable (Sigma, referencia A3176) Van Soest *et al.* (1991), la fibra detergente ácido (FDA) fue determinada por análisis secuencial en el residuo de la FDN y también expresada exclusiva de ceniza residual, Van Soest *et al.* (1991). La hemicelulosa fue determinada por la diferencia entre la FDN y la FDA; la lignina y celulosa se determinaron de acuerdo con Van Soest *et al.* (1991), siendo la lignina, oxidada por permanganato. La digestibilidad “*in vitro*” de la materia orgánica (*div*MO) y el contenido de energía metabolizable (EM) fueron determinados por el método de la celulasa de Boever *et al.* (1986).

Manejo del experimento

Las soluciones nutritivas (macro (A) y micro elementos (B)) fueron preparadas en el laboratorio de química de la Universidad Estatal Península de Santa Elena de acuerdo con las normas establecidas por sus autores. Se aplicaron seis riegos/día (8, 10, 12, 14, 16 y 18 h) de un minuto cada uno, el primero fue a los 4 días postgerminación y tres días antes de la cosecha se regó con agua corriente para lavar las sales minerales residuales en las bandejas. Una vez

pesadas las semillas (2,5 kg/unidad experimental), se procedió a lavarlas hasta eliminar las impurezas incluido las semillas infértiles (flotantes); se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio al 1 % durante un minuto y se sometieron al proceso de hidratación durante 24 h sumergidas en agua. Las semillas fueron distribuidas en las bandejas de germinación y se sometieron a oscuridad total durante tres días. Se regaron tres veces al día.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de plantas, producción de materia seca y proteína bruta

En la tabla 1, se presentan los resultados de altura de plantas (cm; ver figura), producción de MS y PB de la BHM cultivada con diferentes soluciones nutritivas y cosechadas en tres momentos diferentes. Al analizar la altura de las plantas se observó que las soluciones nutritivas

Tabla 1. Altura de plantas, producción de materia seca y proteína bruta de la biomasa hidropónica de maíz cultivada en diferentes sistemas productivos

| Parámetros | MC* (días) | Soluciones nutritivas | | | | EE± ^φ | P [†] |
|--|----------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------|----------------|
| | | Control | Hoagland | La Molina | FAO | | |
| Altura de la planta (cm) | 12 | 20,3 ^e _c | 24,8 ^d _b | 25,4 ^d _b | 25,9 ^d _b | 0,102 | <0,001 |
| | 15 | 21,7 ^g _b | 25,4 ^f _b | 26,6 ^e _{ab} | 27,0 ^d _{ab} | 0,088 | <0,001 |
| | 18 | 23,3 ^e _a | 26,7 ^d _a | 27,5 ^d _a | 28,8 ^d _a | 0,052 | <0,001 |
| | EE± | 0,053 | 0,080 | 0,102 | 0,089 | - | - |
| | P [§] | <0,001 | 0,020 | 0,017 | 0,003 | - | - |
| Producción de MS (kg/m ² /año) | 12 | 103 _a | 137 _a | 93 | 114 _a | 11,936 | 0,092 |
| | 15 | 64 ^f _{ab} | 77 ^{ef} _b | 98 ^{de} | 110 ^d _a | 7,586 | 0,002 |
| | 18 | 58 _b | 85 _b | 74 | 73 _b | 3,742 | 0,188 |
| | EE± | 11,944 | 5,466 | 6,421 | 8,460 | - | - |
| | P | 0,036 | 0,022 | 0,056 | 0,014 | - | - |
| Producción de PB (kg/m ² /año) | 12 | 14,0 | 21,3 | 13,8 | 15,5 _a | 1,648 | 0,099 |
| | 15 | 10,1 | 12,7 | 14,1 | 14,3 _{ab} | 1,912 | 0,052 |
| | 18 | 10,1 | 15,0 | 13,6 | 12,9 _b | 0,326 | 0,100 |
| | EE± | 2,361 | 0,585 | 0,997 | 1,384 | - | - |
| | P | 0,077 | 0,117 | 0,885 | 0,001 | - | - |

Letras desiguales (a, b, c) debajo de las medias en la misma columna y medias con letras desiguales en superíndice (d, e, f, g) en la misma fila difieren para $P < 0,05$ (Tukey, 1949)

*MC: momento de cosecha; EE±: Error estándar de la media; †P: significación estadística según el modelo ANOVA de clasificación simple, para las soluciones dentro de cada momento de cosecha; §P: significación estadística según el modelo ANOVA de clasificación simple (Steel *et al.*, 1997) para los momentos de cosecha dentro de cada solución

La Molina, FAO y Hoagland estimularon el crecimiento y fueron más altas que el Control en todos los momentos de cosecha. Cuando se analizaron los promedios obtenidos en los momentos de cosecha dentro de cada solución, se observó que a los 12 días se alcanzó la menor altura.

Estos resultados superan los reportados por Maldonado-Torres *et al.* (2013) los que lograron 23,03 cm a los 12 días; La producción anual de MS demostró que al comparar las soluciones nutritivas a los 12 y 18 días de edad (30 y 20 cosechas al año) estas no diferían; sin embargo es necesario indicar que a los 12 días fue donde se consiguieron los valores numéricos anuales más altos de MS, especialmente cuando se emplearon las soluciones nutritivas Hoagland y FAO.

No obstante, a los 15 días de edad (24 cosechas al año) las soluciones nutritivas FAO y La Molina fueron diferentes al Control y Hoagland, mostrando las mayores producciones. Cuando se comparan los momentos de cosecha dentro de cada solución nutritiva, estos presentaron variaciones cuando se emplearon las soluciones Control, Hoagland y FAO indicando que a medida que se incrementaban los días de cosecha las producciones decaían debido a la estimación anual. Estos valores son comparables o superiores a los reportados por López *et al.* (2009) quienes lograron 120 kg MS/m²/año a los 14 días de edad o por Salas-Pérez *et al.* (2010) con 78 kg MS/m²/año a los 12 días.

La producción anual de PB no fue afectada por las soluciones nutritivas en ninguno de los momentos de cosecha; sin embargo, las soluciones nutritivas Hoagland y FAO a los 12 días de edad (30 cosechas al año) obtuvieron valores numéricos mayores. Al comparar los momentos de cosecha dentro de cada solución nutritiva se observó efecto del momento de cosecha cuando se empleó la solución FAO, en la que las cosechas a los 12 o 15 días mostraron los mejores resultados.

Los valores de PB obtenidos en esta investigación fueron inferiores o comparables con aquellos reportados por López *et al.* (2009) quienes encontraron 18,98 kg PB/m²/año a los 14 días; mientras que Salas-Pérez *et al.* (2010) reportaron 16,94 kg PB/m²/año a los 16 días. Las soluciones nutritivas en la producción de biomasa hidropónicas han sido usadas durante muchos años, es así que Llanos-Peada (2001), probando distintas dosis de nitrógeno en avena hidropónica, encontró los mejores resultados

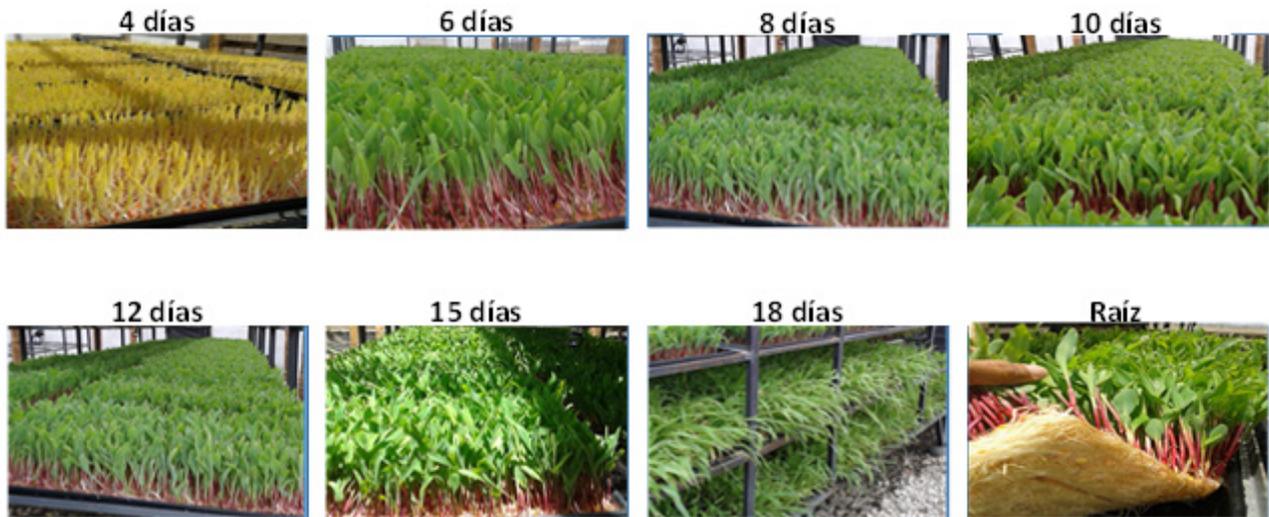
en producción y valor nutritivo cuando se utilizó 200 mg/L de N en la solución nutritiva, concluyendo que dosis superiores no incrementan la producción de fitomasa. Así mismo informó que el contenido de PB (g/m²) después de los 15 días si se aplican concentraciones superiores (N 300 - 400 mg/L), no aumentó el aporte proteico, sino que lo disminuyó en aproximadamente 13,6 %, lo que equivale a 59 g/m² de proteína (base seca). Estos autores sugirieron que esta respuesta pudo estar dada por los altos niveles de N que pudieron inducir toxicidad o desbalance con otros elementos químicos de la solución nutritiva; a su vez, declararon que sería la causa de una menor producción de fitomasa.

Las soluciones nutritivas poseen macro y micro nutrientes esenciales para satisfacer las necesidades de las plantas en las diferentes edades fisiológicas, pero lo más importante es la relación K/N, que define a una solución nutritiva de crecimiento (1: 1) y de producción (1,5: 1). En este estudio las soluciones Hoagland (K/N 1: 1), La Molina (K/N 1,1: 1) y FAO (K/N 2,2: 1) poseen cantidades de N que según Llanos-Peada (2001) son altas; la solución FAO posee una relación K/N que supera dos veces la relación óptima de crecimiento, lo que pudo influir negativamente en la producción de MS y PB de las biomasa producidas con esta solución; ya que el exceso de algún elemento puede provocar disminución en la producción y fitotoxicidad en los cultivos (López-Acosta *et al.*, 2011).

Análisis químico proximal

En la tabla 2, se presentan los contenidos de MS, MO, EE y PB de la biomasa hidropónica de maíz cultivada con tres soluciones nutritivas y cosechadas a tres edades diferentes. La biomasa hidropónica de maíz producida con la solución FAO en todos los momentos de cosecha mostró mayor contenido de materia seca (MS) que el resto de las biomasa producidas con o sin las demás soluciones nutritivas estudiadas.

El análisis de los momentos de cosecha dentro de cada solución para el contenido de MS mostró similitud a los 12, 15 y 18 días de cosecha en todas las soluciones empleadas, excepto en La Molina que evidenció diferencias. Los contenidos de MO a los 12 días fueron afectados por las soluciones nutritivas, siendo el tratamiento con la solución La Molina quien mostró los menores contenidos. Sin embargo, a los 15 días de edad la biomasa hidropónica de maíz acumuló mayor contenido de MO cuando se utilizó el agua corriente (Control),



Fuente: fotos de los autores

Figura. Evolución del crecimiento de plantas de maíz cultivadas en hidroponía durante 18 días

en tanto que a los 18 días no tuvo consecuencia.

Al analizar el efecto de los momentos de cosecha dentro de cada solución se evidenció mayor contenido de MO en la biomasa hidropónica de maíz producida a los 12 y 15 días, a excepción de la solución Hoagland que fue igual a las cosechadas a los 18 días. Al respecto, García-Esteva *et al.* (2003) mencionaron que el suministro adecuado de nutrientes, especialmente el nitrógeno, es un factor determinante que impacta la acumulación de materia seca en cultivos sometidos a altas densidades de siembra, como es el caso de las biomásas hidropónicas.

Por otro lado, Llanos-Peada (2001) indicó que las soluciones nutritivas hidropónicas contienen todos los minerales que la planta requiere pero los factores más importantes para su utilización son: la temperatura de la solución nutritiva (18 a 25 °C) ya que si está fría, la tasa metabólica de la raíz baja y la absorción de nutrientes también. Esto tiene un efecto de retardo en el crecimiento de la planta por debajo de lo deseado. Si es muy alta, afecta la absorción mineral.

Este parámetro pudiera haber influenciado en la producción de MS y MO en los tratamientos estudiados ya que la temperatura ambiental en el lugar del ensayo fue de 28 °C. El agua o una solución nutritiva fría pueden disolver más oxígeno que el agua o una solución caliente, las raíces como cualquier órgano vivo necesitan oxígeno para funcionar adecuadamente y la temperatura de las soluciones aplicadas a las biomásas de este estudio también pudo haber influenciado en estos resultados. Sin embargo, fueron similares a los encontrados por López

et al. (2009). La biomasa hidropónica de maíz obtenida sin solución nutritiva (Control) presentó los promedios más altos de MO lo que pudo ser influenciado por la densidad del agua y la temperatura que ocasionó mayor oxigenación en las raíces.

El contenido de EE en la biomasa hidropónica de maíz producida a los 12 días de edad fue afectado por las soluciones empleadas, donde el tratamiento con la solución La Molina mostró la mayor concentración. A los 15 y 18 días de edad la misma solución obtuvo el valor numérico mayor, siendo igual a las soluciones nutritivas Hoagland y FAO; y estas a su vez al Control. Además, se evidenció que los contenidos de EE fueron influenciados por el momento de cosecha dentro de cada solución, en los que a medida que se incrementó la edad, también se incrementó el contenido de EE.

Al analizar los contenidos de PB a los 12 días de cosecha se evidenció que la solución Hoagland obtuvo los mayores promedios. A los 15 días la solución Hoagland fue igual a las soluciones La Molina y el Control. En el momento de cosecha dentro de cada solución la biomasa hidropónica de maíz producida a los 12 y 15 días con la solución Hoagland mostró los mejores contenidos de PB. A los 18 días de edad todos los tratamientos fueron similares en cuanto a concentración proteica se refiere.

Al respecto, Zakaria *et al.* (2006) relacionaron directamente el contenido de EE en el forraje con el aporte de fósforo en la nutrición de la planta, ya que este mineral es indispensable para la síntesis de proteínas y grasas, en este estudio el contenido

Tabla 2. Contenidos de materia seca, materia orgánica, extracto etéreo y proteína bruta de la biomasa hidropónica de maíz cultivada bajo diferentes sistemas productivos

| Parámetros | MC* (días) | Soluciones nutritivas | | | | | EE± ^φ | P† |
|---------------------------------|----------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------|------------------|----|
| | | Control | Hoagland | La Molina | FAO | | | |
| Materia seca (g/kg alimento) | 12 | 153 ^e | 156 ^e | 157 ^e _b | 204 ^d | 3,990 | <0,001 | |
| | 15 | 161 ^e | 161 ^e | 168 ^e _{ab} | 218 ^d | 8,538 | <0,001 | |
| | 18 | 160 ^f | 148 ^f | 183 ^e _a | 204 ^d | 5,572 | <0,001 | |
| | EE± | 9,579 | 4,728 | 4,544 | 5,006 | - | - | |
| | P [§] | 0,770 | 0,139 | 0,004 | 0,097 | - | - | |
| Materia Orgánica (g/kg MS) | 12 | 972 ^{de} _a | 976 ^d _a | 970 ^e _a | 972 ^{de} _a | 1,361 | 0,014 | |
| | 15 | 974 ^d _a | 965 ^f _b | 971 ^e _a | 970 ^e _a | 0,783 | <0,001 | |
| | 18 | 961 _b | 958 _b | 958 _b | 958 _b | 2,357 | 0,601 | |
| | EE± | 1,913 | 2,282 | 1,221 | 0,651 | - | - | |
| | P | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | - | - | |
| Extracto etéreo (g/kg MS) | 12 | 39,8 ^e _c | 28,0 ^f _c | 46,4 ^d _b | 39,6 ^e _b | 1,220 | <0,001 | |
| | 15 | 44,3 ^e _b | 45,6 ^{de} _b | 52,2 ^d _b | 45,4 ^{de} _b | 2,039 | 0,032 | |
| | 18 | 52,5 ^e _a | 58,6 ^d _a | 60,5 ^d _a | 62,2 ^d _a | 1,576 | 0,002 | |
| | EE± | 1,237 | 0,567 | 1,696 | 2,742 | - | - | |
| | P [§] | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | - | - | |
| Proteína bruta (g/kg MS) | 12 | 142 ^f _c | 198 ^d _a | 161 ^e _b | 139 ^f _b | 2,802 | <0,001 | |
| | 15 | 161 ^d _b | 171 ^d _b | 159 ^d _b | 144 ^e _b | 3,658 | <0,001 | |
| | 18 | 195 _a | 184 _{ab} | 196 _a | 187 _a | 6,134 | 0,307 | |
| | EE± | 2,802 | 7,777 | 2,098 | 2,394 | - | - | |
| | P | <0,001 | 0,041 | <0,001 | <0,001 | - | - | |

Letras desiguales (a, b, c) debajo de las medias en la misma columna y medias con letras desiguales en superíndice (d, e, f, g) en la misma fila difieren para $P < 0,05$ (Tukey, 1949)

*MC: momento de cosecha; EE±: Error estándar de la media; †P: significación estadística según el modelo ANOVA de clasificación simple, para las soluciones dentro de cada momento de cosecha; §P: significación estadística según el modelo ANOVA de clasificación simple (Steel *et al.*, 1997) para los momentos de cosecha dentro de cada solución

de fósforo en la solución Hoagland fue superior a La Molina y la FAO lo que pudo influenciar en los valores de EE y PB de las biomásas estudiadas; sin embargo, los contenidos de EE fueron superiores a los reportados por Salas-Pérez *et al.* (2010). Además, se ha determinado que forrajes con cantidades elevadas de lípidos tendrán altos coeficientes de digestibilidad y una mejor absorción de nutrientes (NRC, 2001). El contenido de EE en las biomásas hidropónicas determinará el valor energético de estas, debido a que los triglicéridos contienen 2,25 veces la energía de los carbohidratos (García-Esteva *et al.*, 2003).

Por otra parte Llanos-Peada (2001) sostienen que existe una relación directa entre la fertilización nitrogenada y el contenido de proteína de las biomásas, así mismo al aumentar la maduración, la relación es inversamente proporcional y esto se debe principalmente a que durante el desarrollo de los órganos estructurales como tallos y pecíolos, el N se desplaza a las partes más jóvenes, esto disminuye la fracción de biomasa activa y promueve una dilución del N en la planta.

Los contenidos de PB obtenidos en este trabajo fueron superiores a los reportados por Salas-Pérez *et al.* (2010) con 123 g PB/kg MS y similares a los publicados por López *et al.* (2009) con 163 g PB/kg MS, respectivamente, quienes cosecharon biomasa hidropónica de maíz a los 12 días. El contenido de PB de las biomásas hidropónicas de maíz confirma un potencial nutricional de excelente calidad, comparado con la utilización de gramíneas de pastoreo que exhiben, aún en el mejor momento de consumo, contenidos de PB y valor nutricional inferiores (Rivera *et al.*, 2010).

En la tabla 3 se presentan los resultados del fraccionamiento de fibra de la biomasa hidropónica de maíz cultivada con diferentes sistemas productivos. El análisis del contenido de fibra detergente neutro (FDN) de la biomasa hidropónica de maíz producida a los 12 y 15 días mostró similitud entre La Molina y el Control, así como entre Hoagland y FAO y a los 18 días la solución Hoagland mostró menor concentración de FDN que las demás soluciones.

En el análisis de los momentos de cosecha independientemente a la solución nutritiva empleada se observó que a medida que avanzaban los días de cosecha la FDN se incrementaba. En este sentido, Zakaria *et al.* (2006), manifestaron que la FDN es la fracción química que corresponde al material estructural de las células vegetales, cuya composición química compleja la

hace potencialmente digestible por los rumiantes, quienes pueden obtener a partir de ella la energía necesaria para sus funciones vitales.

Por otro lado, para Candia (2014), los parámetros nutritivos para determinar la calidad de los forrajes están basados en los contenidos de FDN, que representa la parte potencialmente digestible de los forrajes (ejemplo; hemicelulosa y celulosa) dado que determina la capacidad de consumo voluntario y la consistencia energética de la dieta. De acuerdo con Van Soest (1994), los forrajes que contienen valores inferiores al 40 % de FDN pueden considerarse de buena calidad, mientras que aquellos que superan el 60 % de FDN pueden interferir con la digestión y el consumo.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo fluctuaron entre el 53 y 59 % de FDN, lo que según Van Soest (1994) puede garantizar la calidad nutricional de las biomásas estudiadas. Los resultados aquí presentados son comparables a los reportados por Salas-Pérez *et al.* (2010). Según la NRC (2001), las dietas para rumiantes deben contener entre 25 y 35 % de FDN para garantizar un buen funcionamiento ruminal; además, hay que considerar la relación que existe entre el contenido de FDN y el valor nutritivo, consumo voluntario y digestibilidad de los forrajes.

La concentración de fibra detergente ácido (FDA) contenida en la biomasa hidropónica de maíz fue modificada por las soluciones nutritivas y los momentos de cosecha, donde a los 12 días de edad las soluciones nutritivas Hoagland y FAO mostraron las menores concentraciones. Además, se observó la tendencia que a medida que se incrementó la edad de cosecha esta fracción fue más alta, lo que pudo estar influenciada por la edad de cosecha y por el contenido de potasio en la solución FAO a los 18 días.

Es válido declarar que la FDA en los forrajes como en otros alimentos representa la cantidad de fibra indigestible que se correlaciona negativamente con la digestibilidad y el contenido de PB de los alimentos (Candia, 2014). En el mismo sentido López-Acosta *et al.* (2011) indicaron que conforme la planta madura, su contenido de FDA aumenta, y la ingestión y digestibilidad se reduce. Los resultados alcanzados en el presente trabajo fueron similares a los obtenidos por López *et al.* (2009) e inferiores a los alcanzados por Salas-Pérez *et al.* (2010).

En la digestibilidad "*in vitro*" de la materia orgánica (divMO) y el contenido de energía

Tabla 3. Fibra detergente neutro y ácido, digestibilidad “*in vitro*” de la MO y EM de la biomasa hidropónica de maíz cultivada bajo diferentes sistemas productivos

| Parámetros | MC* (días) | Soluciones nutritivas | | | | EE± ^φ | P [†] |
|---|----------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------|----------------|
| | | Control | Hoagland | La Molina | FAO | | |
| Fibra detergente neutro (g/kg MS) | 12 | 565 ^e _a | 531 ^d _a | 578 ^e | 543 ^d _a | 7,779 | 0,002 |
| | 15 | 585 ^e _b | 556 ^d _b | 595 ^e | 551 ^d _a | 8,978 | <0,001 |
| | 18 | 598 ^e _c | 590 ^d _c | 608 ^e | 613 ^e _b | 4,102 | <0,001 |
| | EE± | 3,406 | 9,462 | 9,385 | 4,624 | - | - |
| | P [§] | <0,001 | 0,002 | 0,075 | <0,001 | - | - |
| Fibra detergente ácido (g/kg MS) | 12 | 306 ^f _c | 229 ^d _a | 277 ^e _b | 233 ^d _a | 4,611 | <0,001 |
| | 15 | 291 ^f _b | 260 ^e _b | 261 ^e _a | 240 ^d _a | 2,295 | <0,001 |
| | 18 | 275 ^d _a | 279 ^{de} _c | 307 ^f _c | 292 ^{ef} _b | 4,143 | <0,001 |
| | EE± | 2,208 | 4,272 | 2,503 | 5,341 | - | - |
| | P | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | - | - |
| divMO (g/100 g MS) | 12 | 70,13 | 70,25 | 72,97 | 72,43 | 1,131 | 0,370 |
| | 15 | 72,19 | 72,77 | 70,36 | 72,96 | 1,054 | 0,385 |
| | 18 | 72,63 | 71,00 | 72,92 | 73,92 | 0,964 | 0,345 |
| | EE± | 0,768 | 1,341 | 0,978 | 1,040 | - | - |
| | P [§] | 0,304 | 0,384 | 0,072 | 0,643 | - | - |
| Energía metabolizable (MJ/kg MS) | 12 | 10,77 | 10,59 | 11,02 | 10,96 | 0,182 | 0,175 |
| | 15 | 11,00 | 11,18 | 10,88 | 11,05 | 0,171 | 0,708 |
| | 18 | 11,14 | 10,84 | 11,05 | 11,35 | 0,157 | 0,290 |
| | EE± | 0,125 | 0,217 | 0,158 | 0,168 | - | - |
| | P | 0,159 | 0,189 | 0,359 | 0,329 | - | - |

Letras desiguales (a, b, c) debajo de las medias en la misma columna y medias con letras desiguales en superíndice (d, e, f, g) en la misma fila difieren para $P < 0,05$ (Tukey, 1949)

*MC: momento de cosecha; EE±: Error estándar de la media; †P: significación estadística según el modelo ANOVA de clasificación simple, para las soluciones dentro de cada momento de cosecha; §P: significación estadística según el modelo ANOVA de clasificación simple (Steel *et al.*, 1997) para los momentos de cosecha dentro de cada solución

metabolizable (EM) de las biomásas hidropónicas de maíz no se apreció ningún efecto de las soluciones nutritivas ni de los momentos de cosecha. Las biomásas hidropónicas de maíz producidas en la presente investigación se pueden catalogar como aceptables en cuanto a la EM y la divMO según las sugerencias de la NRC (2001) y Lima *et al.* (2011), quienes plantearon que los niveles de estas variables para rumiantes deben estar por

encima de 10.5 MJ/kg MS y 70 g/100 g MS, respectivamente.

CONCLUSIONES

Se concluye que las soluciones nutritivas Hoagland, La Molina y FAO influenciaron en el desarrollo de la biomasa hidropónica de maíz mostrando mejores rendimientos y calidad nutricional que la producida con el Control y que

el mejor momento para la cosecha de esta biomasa hidropónica de maíz es a los 12 días después de la siembra, dada por su alta productividad sin afectar la calidad nutritiva.

BIBLIOGRAFÍA

1. AOAC. *Official Methods of Analysis*. 16th edition; Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA. 1995, 346 p. ISBN: 0-935584-87-0.
2. CANDIA, L. Evaluación de la Calidad Nutritiva de Forraje Verde de Cebada (*Hordeum vulgare*) Hidropónico, fertilizado con soluciones de guano de Cuy (*Cavia porcellus*) a dos concentraciones. *Salud Tecnología Veterinaria*, 2: 55-62, 2014.
3. CRUZ-DOMÍNGUEZ, O.A. Estudio socioeconómico de la ganadería caprina (*Capra hircus*) en siete comunas de la parroquia Chanduy, cantón Santa Elena. *Tesis en opción al título de Ingeniero en Administración de Empresas Agropecuarias y Agronegocios*, Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador. 2015, 112 p.
4. De BOEVER, J. L., B.G. COTTYN, F.X. BUYSE, F.W. WAINMAN and J.M. VANACKER. The use of an enzymatic technique to predict digestibility, metabolizable and net energy of compound feedstuffs for ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 14: 203-214, 1986.
5. GARCÍA-ESTEVA, A., J. KOHASHI-SHIBATA, G.A. BACA-CASTILLO y J.A. ESCALANTE-ESTRADA. Rendimiento y asignación de materia seca de una variedad de frijol en un sistema hidropónico y suelo. *Terra Latinoamericana*, 21 (4): 471-480, 2003.
6. INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología). Información hidrológica. In: Naranjo Jácome, C. (ed.) *Anuario hidrológico*, No 52-2014 edn. Quito, Ecuador. 2015, p. 287.
7. LIMA, R., R.F. DÍAZ, A. CASTRO and V. FIEVEZ. Digestibility, methane production and nitrogen balance in sheep fed ensiled or fresh mixtures of sorghum-soybean forage. *Livestock Science*, 141: 36-46, 2011.
8. LÓPEZ-ACOSTA, P. P., A. CANO-MONTES, S. RODRÍGUEZ-De La ROCHA, N. TORRES-FLORES, M. RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ y R. RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ. Efecto de diferentes concentraciones de potasio y nitrógeno en la productividad de tomate en cultivo hidropónico. *Tecnociencia Chiguagua*, 5 (2): 98-104, 2011.
9. LÓPEZ, A.R., A.B. MURILLO y Q.G. RODRÍGUEZ. El Forraje Verde Hidropónico (FVH): Una alternativa de producción de alimento para el ganado en zonas áridas. *Interciencia*, 34: 121-126, 2009.
10. LLANOS-PEADA, P. La Solución Nutritiva, Nutrientes Comerciales, Fórmulas Completas. Walcoagro. 2001. Disponible en: www.walcoagro.com Consultado el 26 de abril de 2012.
11. MALDONADO-TORRES, R., M. ÁLVAREZ-SÁNCHEZ, C. ACEVEDO y E. RÍOS-SÁNCHEZ. Nutrición mineral de forraje verde hidropónico. *Revista Chapingo serie horticultura*, 19(2): 211-223, 2013.
12. MARULANDA, C. y J. IZQUIERDO. La Huerta Hidropónica Popular. In: 3 (ed.) *Manual técnico la huerta hidropónica popular*. Santiago-Chile: Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile, Chile. 2003, 132 p.
13. NRC (National Research Council). *Nutrient requirements of dairy cattle*. Seventh Revised Edition. National Academy Press. Washington, D.C., USA. 2001, 401 p. ISBN: 0-309-06997-1.
14. RIVERA, A., M. MORONTA, M. GONZÁLEZ-ESTOPIÑÁN, D. GONZÁLEZ, D. PERDOMO, D. GARCÍA y G. HERNÁNDEZ. Producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.) en condiciones de iluminación deficiente. *Zootecnia Tropical*, 28 (1): 33-41, 2010.
15. RODRÍGUEZ-DELFIN, A. y M. Chang. *Hidroponía y Nutrición Mineral*. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. Universidad Nacional Agraria La Molina: Lima, Perú. 2012, 25 p.
16. SALAS-PÉREZ, L., R.P. Preciado, R.J. Esparza, R.V. Álvarez, G.A. Palomo, D.N. Rodríguez y H.C. Márquez. Rendimiento y calidad de forraje hidropónico producido bajo fertilización orgánica. *Terra Latinoamericana*, 28 (4): 355-360, 2010.
17. IBM Corp. *IBM SPSS Statistics for Windows, Version 21.0*. Armonk, N.Y., USA. 2012.

18. STEEL, R.G.D., J.H. TORRIE and D.A. DICKEY. *Principles and Procedures of Statistics. A Biometrical Approach*. McGraw-Hill Book Companies. New York, EE.UU. 1997, 672 p. ISBN: 978-0070610286.
19. TUKEY, J. W. Comparing Individual Means in the Analysis of Variance. *Biometrics*, 5: 99-114, 1949.
20. VAN SOEST, P.J. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. Cornell University Press. Ithaca, USA. 1994, 476 p. ISBN: 9780801427725.
21. VAN SOEST, P.J., J.B. ROBERTSON and B.A. LEWIS. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of dairy science*, 74: 3583-3597, 1991.
22. ZAKARIA, M.S., A.H. SAELO, E.B. AHMED and R.A. ABOU-EL-ELA. Cottonseed, protein, oil yields and oil properties as influenced by potassium fertilization and foliar application of zinc and phosphorus. *World Journal Agricultural Science*, 2: 66-74, 2006.

Recibido el 29 de junio de 2016 y aceptado el 20 de septiembre de 2016