
RENDIMIENTO, CALIDAD NUTRICIONAL, CONTENIDO FENÓLICO Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE MAÍZ (*Zea mays*) PRODUCIDO EN INVERNADERO BAJO FERTILIZACIÓN ORGÁNICA

Lilia Salas Pérez, Juan Ramón Esparza Rivera, Pablo Preciado Rangel,
Vicente de Paul Álvarez Reyna, Jorge Armando Meza Velázquez,
José Rodolfo Velázquez Martínez y Manuel Murillo Ortiz

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el rendimiento, composición nutricional, contenido fenólico total y capacidad antioxidante de forraje verde hidropónico (FVH) de maíz producido en invernadero bajo fertilización orgánica. Los tratamientos aplicados fueron: té de vermicompost (TVC), té de compost (TC), y una solución nutritiva química (SQ) como control. Se utilizó un diseño unifactorial en bloques completamente al azar con seis repeticiones por tratamiento. La fertilización utilizada afectó significativamente ($p < 0,01$) el contenido de materia seca (MS) y proteína cruda (PC) de los forrajes, obteniéndose el mayor MS con el tratamiento TC, mientras que TVC y SQ obtuvieron los contenidos de PC más altos. Sin embargo, el rendimiento, contenido de fenólicos (CF) y capacidad antioxidante (CA)

del FVH de maíz no fueron afectados por el tipo de fertilización ($p > 0,05$). Asimismo, todos los atributos nutritivos evaluados se encontraron dentro de los rangos recomendados para forrajes de calidad. Los FVH producidos tuvieron valores bajos tanto en CA (262,9-300,1mM equivalente en Trolox / g BS) como en CF (1,25-1,28mg AG equivalente / g BS). Dichos valores de capacidad antioxidante y contenido fenólico pudieran ser atribuidos a la corta edad del forraje al momento de la cosecha, además de que las plantas no estuvieron expuestas a factores de estrés dadas las condiciones controladas en el invernadero. Las soluciones nutritivas orgánicas aplicadas pueden ser utilizadas en la producción de FVH en invernadero, debido al rendimiento y a la composición nutricional del forraje de maíz obtenido.

Introducción

El forraje verde hidropónico (FVH) es el resultado de la germinación y crecimiento temprano de plántulas provenientes de semillas forrajeras de gramíneas y leguminosas durante períodos de producción que varían de 9 a 16 días (FAO, 2001). Este tipo de forraje puede producirse

en forma vertical (lotes apilados a varios niveles) tanto en invernaderos automatizados como en sistemas operados manualmente estableciendo condiciones adecuadas de temperatura, humedad y luz (Arano, 1998). Dentro de sus principales ventajas se encuentran su alta productividad de biomasa por m² de superficie utili-

zada, además de su bajo consumo de agua (Müller *et al.*, 2006).

El FVH es un alimento altamente nutritivo que puede ser incluido en la dieta de animales mono- y poligástricos, incrementando su fertilidad y productividad además de disminuir la incidencia de algunas enfermedades de tipo digestivo e

infeccioso incluyendo parasitosis (Sneath y Mcintosh, 2003; Espinoza *et al.*, 2004; Vargas, 2008; Romero *et al.*, 2009). Los efectos benéficos del consumo de FVH en la salud del ganado han sido atribuidos generalmente a su contenido de proteínas, minerales y vitaminas (Sneath y Mcintosh, 2003). Sin embargo, en las plantas existen

PALABRAS CLAVE / Antioxidantes / Calidad Nutricional / Compuestos Fenólicos / Fertilización Orgánica / Forraje Hidropónico /

Recibido: 10/07/2011. Modificado: 20/02/2012. Aceptado: 22/02/2012.

Lilia Salas Pérez. Ingeniera Agrónoma, Instituto Tecnológico Agropecuario N° 10, México. Maestra en Ciencias en Agricultura Orgánica, Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED), México. Candidata a Doctor en Ciencias Agrarias, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) Unidad Laguna, México.

Juan Ramón Esparza Rivera. Ingeniero Tecnólogo en Alimentos y M.C., UJED, México. Ph.D. en Ciencia de los Alimentos y Nutrición Humana,

Colorado State University, EEUU Profesor Investigador, UJED, México. Dirección: Avenida Artículo 123 S/N, Fraccionamiento Filadelfia, Gómez Palacio, Durango, México. C.P. 35010. e-mail: jresparza02001@yahoo.com

Pablo Preciado Rangel. Ingeniero Agrónomo y M.Cs. en Suelos, UAAAN, México. D.Cs., en Edafología, Colegio de Postgraduados (COLPOS), México. Profesor Investigador, Instituto Tecnológico de Torreón (ITT), México.

Vicente de Paul Álvarez Reyna. Ph.D. en Agronomía, New Mexico State University, EEUU. Profesor Investigador, UAAAN, México.

Jorge Armando Meza Velázquez. Ingeniero Tecnólogo en Alimentos y M.C., Universidad Autónoma de Chihuahua, México. Candidato a Doctor en Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Profesor Investigador, UJED, México.

José Rodolfo Velázquez Martínez. Ingeniero Químico, Instituto Tecnológico de Tapachula, México. M.C. Instituto Tecnológico de Veracruz, México. Profesor Investigador, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México.

Manuel Murillo Ortiz. Médico Veterinario Zootecnista y Maestro en Ciencias, Universidad Nacional de Educación a Distancia, México. Doctor en Filosofía, Universidad Autónoma de Chapingo (UACH), México. Profesor Investigador, UJED, México.

YIELD, NUTRITIONAL QUALITY, PHENOLIC CONTENT AND ANTIOXIDANT CAPACITY OF HYDROPONIC GREEN FODDER OF GREENHOUSE PRODUCED CORN UNDER ORGANIC FERTILIZATION

Lilia Salas Pérez, Juan Ramón Esparza Rivera, Pablo Preciado Rangel, Vicente de Paul Álvarez Reyna, Jorge Armando Meza Velázquez, José Rodolfo Velázquez Martínez and Manuel Murillo Ortiz

SUMMARY

The object of the current study was to evaluate yielding, nutritional composition, total phenolic content and antioxidant capacity of hydroponic green fodder (HGF) of corn under organic fertilization. Applied treatments were vermicompost tea (VCT), compost tea (CT), and nutrient solution (NS) as control. A factorial design was used in randomly assigned blocks, with six replicate treatments. Fertilization type significantly affected ($p < 0.01$) dry matter (DM) and crude protein content (PC) in the foliage, CT having the highest DM, while VCT and NS produced the highest PC. However, yield, phenolic content (FC) and antioxidant capacity (AC) of the produced corn HGF were not different ($p > 0.05$) using either organic or inorganic fertilization.

Moreover, all evaluated nutrimental attributes were within recommended quality limits for foliage. The produced HGF obtained low values of AC (262.9-300.1mM Trolox equivalent / g DB) and FC (1.25-1.28mg AG equivalent / g DB). This could be attributed to the early growth stage of foliage at harvest, in addition to the fact that plants were not exposed to stress factors due to the greenhouse controlled environmental conditions. Organic fertilization solutions such as compost and vermicompost tea may be used for greenhouse HGF production mainly due to the obtained yielding, along with the nutrient and chemical composition of the produced corn foliage, which are within recommended quality values for foliage.

DESEMPENHO, QUALIDADE NUTRICIONAL, CONTEÚDO DE FENÓLICOS E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE DE FORRAGEM VERDE HIDROPÔNICO DE MILHO (*Zea mays*) PRODUZIDO EM ESTUFA EM FERTILIZAÇÃO ORGÂNICA

Lilia Salas Pérez, Juan Ramón Esparza Rivera, Pablo Preciado Rangel, Vicente de Paul Álvarez Reyna, Jorge Armando Meza Velázquez, José Rodolfo Velázquez Martínez e Manuel Murillo Ortiz

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho, qualidade nutricional, conteúdo de fenólicos e capacidade antioxidante de forragem verde hidropônica (FVH) de milho produzido em fertilização orgânica. Os tratamentos aplicados foram: chá de lombricomposta (TVC), chá de composto (TC), e uma solução nutritiva (SQ) como um controle. Um design fatorial foi usado em blocos aleatoriamente, fazendo seis réplicas dos tratamentos. Tipo de fertilização usada afetado significativamente ($p < 0.01$) a conteúdo de matéria seca (MS) e de proteína bruta (PC) na folhagem, tendo tratamento TC o mais alto MS, enquanto TVC e SQ obtidos mais alto PC. No entanto, o desempenho, conteúdo fenólico (CF) e capacidade antioxidante (CA) de FVH de milho produzidos não foram diferentes ($p > 0.05$) usando fertilização orgânica ou inorgânica.

Além disso, todos os atributos nutrimental avaliados foram encontrados dentro dos limites recomendados para forragem de qualidade. FVH produzido tinha valores baixos em CA (262,9-300,1mM equivalente em Trolox / g BS) e CF (1,25-1,28mg equivalente em AG / g BS), isto pode ser atribuído à fase de crescimento inicial da folhagem na colheita, também plantas não foram expostas a fatores de estresse por condições controladas com efeito de estufa. Soluções de fertilização orgânica, como chá composto e lombricomposta podem ser usadas para produção de FVH em estufa, devido principalmente ao rendimento obtido, juntamente com a composição nutricional e química de forragens de milho produzidos, que estavam dentro de valores de qualidade recomendados de folhagem.

compuestos fitoquímicos con reconocida bioactividad como lo son los compuestos fenólicos (CF; Drago *et al.*, 2006), los cuales no han sido evaluados en forrajes hidropónicos. Estos compuestos representan un amplio grupo de sustancias químicas consideradas metabolitos secundarios de las plantas (Javanmardi *et al.*, 2003), los cuales se relacionan con el mejoramiento del valor nutritivo y efectos benéficos sobre la salud animal

(Reed *et al.*, 2000) debido a que estos compuestos reducen la degradación de proteínas en el rumen, permitiendo una mayor absorción a nivel intestinal (Makkar, 2003). Actualmente existe un creciente interés por la evaluación del efecto del consumo de CF en la salud animal, ya que se ha obtenido diferente respuesta dependiendo de su concentración en los forrajes (Barry y McNabb, 1999). Se ha reportado que concentraciones de

CF >5% en base seca limitan el consumo y la digestibilidad del forraje, mientras que a niveles inferiores estos compuestos han presentado propiedades antioxidantes, además de activar el sistema inmune del ganado y ayudar a incrementar la absorción de proteína en rumiantes (García y Medina, 2006). Por ello, los CF han sido recomendados como aditivos en preparados alimenticios para ganado (Barry y McNabb, 1999; Makkar, 2003).

La concentración de CF en las plantas está en función tanto de factores intrínsecos (especie, variedad y tejido vegetal) como extrínsecos tales como condiciones ambientales y de manejo agronómico. Entre las últimas destaca la fertilización (Alizadeh *et al.*, 2010). En algunas especies forrajeras el contenido de CF depende del tipo de fertilización aplicada orgánica o convencional. García *et al.* (2005) encontraron que la fertilización

orgánica incrementó el contenido de CF en *Morus alba* L., cultivada en suelo, mientras que otros estudios indican un efecto nulo sobre los CF en forrajes al aplicar fertilización orgánica (García, 2004). Por otro lado, se ha logrado obtener rendimientos y calidad nutritiva en FVH producido bajo fertilización orgánica similares a los obtenidos aplicando fertilización química (Salas Pérez *et al.*, 2010). Sin embargo, no ha sido evaluado el contenido de CF y capacidad antioxidante en FVH obtenido bajo fertilización orgánica. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de soluciones nutritivas orgánicas sobre el rendimiento, composición nutricional, compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante *in vitro* de forraje verde hidropónico de maíz producido en invernadero.

Materiales y Métodos

Material vegetativo y condiciones de crecimiento

Se utilizaron muestras de FVH de maíz (*Zea mays* spp.) cultivado durante la primavera de 2010 en un invernadero con enfriamiento automático, en el Instituto Tecnológico de Torreón, Coahuila, México, localizado entre 24°30' y 27°N, y 102°00' y 104°40'O, a una altitud de 1120m. La semilla utilizada (maíz tipo criollo variedad San Lorenzo) fue pregerminada mediante inmersión en agua potable a 26 ±2°C durante 24h. Las semillas fueron escurridas y colocadas en botes de plástico de 20 litros perforados y cubiertos con plástico negro a 30 ±2°C durante 24h (germinación). Posteriormente se procedió a la siembra, colocando semillas con radículas de 1-1,5cm de longitud en bandejas de poliestireno de 35×20cm perforadas, con una densidad de siembra de

TABLA I
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS SOLUCIONES NUTRITIVAS APLICADAS EN LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE MAÍZ EN INVERNADERO

Solución de fertilización	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	pH	CE
	mg·l ⁻¹										
TVC	101	10,0	50,7	200	26,8	4,3	1,5	0,3	1,4	7,3	1,2
TC	170	28,5	33,9	245,6	31,6	4,5	1,6	0,4	1,6	7,1	2,5
SQ	202	48,5	32,4	81	60,6	23,8	1,8	0,09	0,07	7,5	1,7

TVC: té de vermicompost, TC: té de compost, SQ: solución química, CE: conductividad eléctrica.

3,5kg·m⁻² (Salas Pérez *et al.*, 2010). Las plántulas fueron irrigadas a suficiencia con agua potable, con un volumen de riego promedio de 9,87l·m⁻²/día. El riego fue aplicado cada hora durante un lapso de 2-3min utilizando atomizador a presión desde las 9:00 hasta las 18:00h a partir del día de siembra hasta la cosecha de los forrajes (día 16). El compost y vermicompost utilizados en el presente estudio fueron proporcionados por el Instituto Tecnológico de Torreón.

Tratamientos

Los tratamientos fueron té de vermicompost (TVC), té de compost (TC) y solución química (SQ) como control, y fueron aplicados a partir del día 5 hasta el día de cosecha. Las soluciones nutritivas orgánicas fueron preparadas de acuerdo a Ingham (2005), y la solución nutritiva química utilizada fue la recomendada por Rodríguez (2003). La concentración de nutrientes en los tratamientos utilizados se muestra en la Tabla I. Los tratamientos fueron aplicados dos veces al día (8:00 y 19:00) sobre la parte aérea del forraje, con un volumen promedio de 4,63l·m⁻²/día.

Variables de comparación

Rendimiento. Se calculó la conversión semilla-forraje fresco (CSF), la cual indica los kg de forraje producidos por kg de semilla utilizada (Vargas, 2008). Asimismo se

reportó el rendimiento del forraje en kg·m⁻² de bandeja en base a peso fresco (PF).

Análisis de composición química. La determinación del contenido de materia seca (MS), proteína cruda (PC) y grasa se realizaron siguiendo los métodos oficiales de la AOAC (2005). La materia seca se cuantificó colocando muestra fresca (12g) en cajas de aluminio en estufa de aire forzado a 70°C hasta peso constante. La PC se cuantificó con el método microKjeldhal, mientras que el contenido de grasa se determinó mediante el método Soxhlet usando un extractor Goldfish (Labconco, EEUU). Los porcentajes de fibras ácido y neutro detergente (FAD y FND) se cuantificaron con el método de fraccionamiento con detergente y filtración subsecuente (Van Soest *et al.*, 1978). Todos los análisis fueron realizados por triplicado.

Preparación de muestras para contenido de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante. El forraje cosechado (follaje, semillas y raíces) fue lavado con agua potable durante 2min para remover residuos de las soluciones, dejándose secar extendido en papel secante a la sombra a temperatura ambiente (30 ±2°C) durante 5 días. Posteriormente el material seco fue pulverizado manualmente (utilizando mortero y pistilo), almacenándose en tubos de plástico a -18°C hasta la obtención de extractos.

Obtención de extractos. Se mezclaron 10mg de muestra seca en 10ml de etanol al 80% en tubos de plástico con tapa de rosca, los cuales fueron colocados en agitador rotatorio (ATR Inc., EEUU) durante 4h a 20rpm a 5°C. Los tubos fueron centrifugados luego a 3000rpm durante 5min, y el sobrenadante fue extraído para su análisis.

Fenólicos totales. El contenido fenólico total se midió usando una modificación del método Folin-Ciocalteu (Esparza Rivera *et al.*, 2006). Se mezclaron 30µl de muestra con 270µl de agua destilada en un tubo de ensayo, y a esta solución se le agregaron 1,5ml de reactivo Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich, St. Louis MO, EEUU) diluido (1:15), agitando en vórtex durante 10seg. Después de 5min se añadieron 1,2ml de carbonato de sodio (7,5% p/v) agitándose durante 10seg. La solución fue colocada en baño maría a 45°C por 15min, y luego se dejó enfriar a temperatura ambiente. La absorbancia de la solución fue leída a 765nm en un espectrofotómetro HACH 4000. El contenido fenólico se calculó mediante una curva patrón usando ácido gálico (Sigma, St. Louis, Missouri, EEUU) como estándar, y los resultados se reportaron en mg de ácido gálico equivalente por g de muestra base seca (mg equiv AG-/g BS). Los análisis se realizaron por triplicado.

Capacidad antioxidante. La capacidad antioxidante equivalente en Trolox se evaluó de acuerdo al método *in vitro* ABTS⁺ (Esparza Rivera *et al.*, 2006). Se preparó una solución de ABTS⁺ con 40mg de ABTS (Aldrich, St. Louis, Missouri, EEUU) y 1,5g de dióxido de manganeso (Fermont, Nuevo León, México) en 15ml de agua destilada. La mezcla fue agitada vigorosamente y se dejó reposar cubierta durante

20min. Luego, la solución se filtró en papel Whatman 40 (GE Healthcare UK Limited, Little Chalfont, RU) y la absorbancia se ajustó a $0,700 \pm 0,010$ a una longitud de onda de 734nm utilizando solución de fosfato buffer 5mM. Para la determinación de capacidad antioxidante se mezclaron 100µl de muestra y 1ml de solución ABTS⁺, y después de 60 y 90seg de reacción se leyó la absorbancia de la muestra a 734nm. Se preparó una curva estándar con Trolox (Aldrich, St. Louis, Missouri, EEUU), y los resultados se reportaron como capacidad antioxidante equivalente en µM equivalente en Trolox por g base seca (µM equiv Trolox / g BS). Los análisis se realizaron por triplicado.

Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental utilizado fue en bloques completamente al azar con seis repeticiones de los tratamientos. Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza usando el programa estadístico SAS (1999) versión 9.0 y para las comparaciones de medias se usó la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Resultados y Discusión

Rendimiento

Los resultados de rendimiento en los forrajes producidos en base a la conversión semilla-forraje fresco (CSF) y al peso fresco ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$) no indicaron diferencias atribuibles al tipo de solución nutritiva utilizada. Asimismo, las CSF en los FVH producidos (Tabla II) se encuentran dentro de los niveles de producción reportados en otros estudios, los cuales señalan la viabilidad y rentabilidad del FVH cuando la CSF es $\geq 1:5$ (Müller *et al.*, 2006; Vargas,

TABLA II
RESULTADOS DEL RENDIMIENTO Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE MAÍZ PRODUCIDO EN INVERNADERO BAJO DIFERENTES SOLUCIONES NUTRITIVAS

Tratamiento	Rendimiento		MS	FAD	FND	PC	Grasa
	CSF	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$					
TVC	1:5,6a	19,71 a	15,42 c	17,34 a	46,23 a	13,34 a	4,21 a
TC	1:5,1a	18,09 a	18,24 a	18,05 a	44,53 a	12,26 b	4,26 a
SQ	1:5,2a	18,23 a	16,69 b	18,00 a	45,15 a	13,52 a	4,31 a

TVC: té de vermicompost; TC: té de compost; SQ: solución química, CSF: conversión semilla forraje fresco, MS: materia seca, FAD: fibra ácido detergente, FND: fibra neutro detergente, PC: proteína cruda, % BS: porcentaje en base seca. Valores seguidos de diferente letra en la columna indican diferencia estadística significativa (Tukey $p < 0,05$).

2008). Por otra parte, Sneath y McIntosh (2003) indican que la fertilización es un factor que debe ser considerado para obtener rendimientos aceptables en FVH, lo cual coincide con los resultados obtenidos en el presente trabajo, donde la concentración nutricional de las soluciones nutritivas utilizadas (Tabla I) satisficieron los requerimientos del FVH. Pant *et al.* (2009) y Theunissen *et al.* (2010) señalan que los niveles de crecimiento y producción de biomasa en plantas fertilizadas con té de compost y de vermicompost se deben principalmente a que los nutrientes contenidos en estas soluciones se encuentran en forma iónica y por lo tanto están disponibles para las plantas. Estos autores señalan que la alta disponibilidad de nutrientes en dichas soluciones orgánicas es atribuible a los procesos de fermentación aeróbica realizados por microorganismos contenidos en la materia orgánica, lo cual en combinación con la presencia de ácidos húmicos y otras sustancias biológicamente activas que actúan como reguladores de crecimiento vegetal, incrementa finalmente la biodisponibilidad de los nutrientes para las plantas.

Composición nutricional

El tipo de solución nutritiva presentó efectos significativos ($p < 0,01$) sobre importantes atributos nutricionales del FVH, como lo son el contenido de materia seca

(MS) y proteína cruda (PC), mientras que los contenidos de fibras (FAD y FND) y grasa no fueron afectados. Todos los componentes químicos analizados (Tabla II) estuvieron dentro de los intervalos reportados en forrajes como aceptables (López *et al.*, 2009; Martínez *et al.*, 2010). García *et al.* (2003) mencionan que el suministro adecuado de nutrientes, especialmente nitrógeno (N), es un factor determinante que impacta la acumulación de materia seca en cultivos sometidos a altas densidades de siembra, como en el FVH. Respecto al contenido de PC, en estudios previos se reportó menor PC en FVH de maíz obtenido sin aplicación de soluciones nutricionales (únicamente irrigado con agua a suficiencia) en comparación con el PC de FVH fertilizado (Salas Pérez *et al.*, 2010), lo cual indica la importancia de la aplicación de soluciones nutritivas para obtener forraje de mejor calidad proteica. El contenido de PC del forraje obtenido con TC fue menor que en los tratamientos SQ y TVC ($p < 0,05$), entre los que no se tuvo diferencia (Tabla II). Los resultados en el presente experimento coinciden con Wing y Rojas (2006), quienes mencionan que una adecuada disponibilidad de N favorece la producción de proteína. Las soluciones nutritivas aplicadas en el presente estudio contenían concentraciones de N recomendadas para la producción de FVH (Rodríguez,

2003), pero posiblemente los forrajes solo absorbieron una parte del N contenido en las soluciones nutritivas debido a que el tiempo de contacto de las soluciones aplicadas es reducido, y el resto del N se lixivió en las soluciones drenadas, por lo cual se infiere que la velocidad de drenaje pudo afectar la absorción de N y consecuentemente el PC del FVH. Esto pudiera explicar que los tratamientos SQ y TVC no tuvieran diferente PC aun cuando dichas soluciones nutricionales tenían distintas concentraciones de N (Tabla I). Los resultados del presente trabajo indican que las soluciones nutritivas utilizadas pueden contribuir a obtener FVH con niveles adecuados de proteína que incrementen el rendimiento de las bacterias ruminales en ganado, con lo cual se reduciría el uso de suplementos proteicos (Mejía y Mejía, 2007).

2003), pero posiblemente los forrajes solo absorbieron una parte del N contenido en las soluciones nutritivas debido a que el tiempo de contacto de las soluciones aplicadas es reducido, y el resto del N se lixivió en las soluciones drenadas, por lo cual se infiere que la velocidad de drenaje pudo afectar la absorción de N y consecuentemente el PC del FVH. Esto pudiera explicar que los tratamientos SQ y TVC no tuvieran diferente PC aun cuando dichas soluciones nutricionales tenían distintas concentraciones de N (Tabla I). Los resultados del presente trabajo indican que las soluciones nutritivas utilizadas pueden contribuir a obtener FVH con niveles adecuados de proteína que incrementen el rendimiento de las bacterias ruminales en ganado, con lo cual se reduciría el uso de suplementos proteicos (Mejía y Mejía, 2007).

Contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante

El contenido de compuestos fenólicos (CF) del FVH no presentó diferencias entre tratamientos, encontrándose en niveles $< 1\%$ en base seca, los cuales son similares a los reportados en especies con potencial forrajero (Repo y Encina, 2008). Estos resultados señalan que el FVH de maíz producido en invernadero no representa riesgos para su uso en alimentación animal, ya que de acuerdo con González *et al.* (2006) forrajes con contenidos de fenólicos $< 4\%$ en base seca pueden ser consumidos por rumiantes sin efectos negativos en la salud de los animales. Antolovich *et al.* (2000) indican que los CF actúan a bajas concentraciones debido a que poseen una estructura química ideal para funcionar como antioxidantes. Una posible explicación de estos resultados es

TABLA III
CONTENIDO TOTAL DE FENÓLICOS Y CAPACIDAD
ANTIOXIDANTE DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO
DE MAÍZ PRODUCIDO EN INVERNADERO BAJO
DIFERENTES TIPOS DE SOLUCIONES NUTRITIVAS

Tratamientos	Contenido fenólico total mg AG equiv / g BS ¹	Capacidad antioxidante µM equiv Trolox / g BS ²
TVC	1,25 a	290,85 a
TC	1,28 a	262,52 a
SQ	1,30 a	300,12 a

¹ Datos expresados como mg equivalente de ácido gálico por g base seca.

² Datos expresados como µM equivalente en Trolox por g base seca.

TVC: té de vermicompost; TC: té de compost; SQ: solución química.

Valores seguidos de diferente letra en la columna indican diferencia estadística significativa (Tukey p<0,05).

que las plantas utilizadas para producir FVH en invernadero destinan la mayor parte de los nutrientes absorbidos a la formación de biomasa debido a que no están expuestas a condiciones ambientales estresantes, lo que pudo afectar la activación de las rutas bioquímicas del metabolismo secundario para síntesis de CF. Además, la cosecha del FVH se realizó a los 16 días de plantado, que es una etapa temprana de crecimiento en la que regularmente se presenta una baja producción de CF (Chirinos *et al.*, 2007).

La capacidad antioxidante del FVH no fue afectada significativamente por el tipo de solución nutritiva, encontrándose valores entre 262,5 y 300,1µM equiv Trolox /g base seca (Tabla III). Zhao *et al.* (2009) reportaron que niveles bajos de capacidad antioxidante en productos vegetales están asociados a la falta de estrés durante su ciclo de crecimiento. Es probable que las condiciones ambientales controladas del invernadero bajo las cuales se realizó el presente estudio hayan evitado que las plántulas de maíz estuvieran expuestas a estrés durante su crecimiento, resultando en un valor bajo de capacidad antioxidante *in vitro* del FVH.

Conclusiones

El rendimiento, contenido de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante del forraje verde hidropó-

nico de maíz obtenido fueron similares en los tratamientos de fertilización orgánica y química. Asimismo, aunque se encontraron diferencias en los contenidos de materia seca y proteína, todos los parámetros nutricionales evaluados estuvieron dentro de los valores reportados como aceptables en forrajes de buena calidad nutritiva. Por otra parte, el contenido fenólico total del FVH orgánica e inorgánicamente fertilizado fue menor al 1% base seca, por lo que el consumo de dichos forrajes no representa riesgos para la salud del ganado relacionados con el consumo de estos compuestos. Por lo tanto, es recomendable el uso de soluciones orgánicas de fertilización en la producción de FVH de maíz en invernadero, debido a las ventajas que dichas soluciones representarían desde el punto de vista de sustentabilidad por el uso de los recursos disponibles. Se recomienda para futuros estudios la evaluación de las propiedades antioxidantes *in vivo* del forraje verde hidropónico producido bajo fertilización orgánica, así como la identificación de los compuestos fenólicos contenidos en este tipo de forraje.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Facultad de Ciencias Químicas Gómez Palacio de la Universidad Juárez del Estado de Durango por las facilidades

proporcionadas durante la realización de la fase experimental y las determinaciones analíticas.

REFERENCIAS

- Alizadeh A, Khoshkui M, Javidnia K, Firuzi O, Tafazoli E, Khalighi A (2010) Effects of fertilizer on yield, essential oil composition, total phenolic content and antioxidant activity in *Satureja hortensis* L. (Lamiaceae) cultivated in Iran. *J. Med. Plant. Res.* 4:33-40.
- Antolovich M, Prenzler P, Roberts K, Ryan D (2000) Sample preparation in the determination of phenolic compounds in fruits. Critical review. *Analyst* 125: 989-1009.
- AOAC (2005) *Official Methods of Analysis*. 18th ed. AOAC International. Gaithersburg, MD, EEUU. www.aoac.org
- Arano C (1998) *Forraje Verde Hidropónico y otras Técnicas de Cultivo sin Tierra*. Versión 2.0. Buenos Aires, Argentina. Formato CD.
- Barry TN, McNabb WC (1999) The implications of condensed tannins on the nutritive value of temperate forages fed to ruminants. *Br. J. Nutr.* 81: 263-272.
- Chirinos R, Campos D, Arbizu C, Rogez H, Rees JF, Larondelle Y, Noratto G, Cisneros ZL (2007) Effect of genotype maturity stage and post-harvest storage on phenolic compounds, carotenoid content and antioxidant capacity of Andean mashua tubers (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón). *J. Sci. Food Agric.* 87: 437-446.
- Drago SME, López LM, Sainz ER (2006) Componentes bioactivos de alimentos funcionales de origen vegetal. *Rev. Mex. Cs. Farmac.* 37: 58-68.
- Esparza Rivera JR, Stone MB, Stushnoff C, Pilon-Smits E, Kendall PA (2006) Effects of Ascorbic acid applied by two hydrocooling methods on physical and chemical properties of green leaf lettuce stored at 5°C. *J. Food Sci.* 71: 270-276.
- Espinoza F, Argenti P, Urdaneta G (2004) Uso del forraje de maíz (*Zea mays*) hidropónico en la alimentación de toretes mestizos. *Zootec. Trop* 22: 303-315.
- FAO (2001) *Mejoramiento de la disponibilidad de alimentos en los Centros de Desarrollo Infantil del INNFA*. Manual Técnico de Producción de Forraje Verde Hidropónico. TCP/EUCU/066 (A) Oficina Regional América Latina y El Caribe. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Santiago, Chile. 9 pp.
- García DE (2004) Principales factores anti nutricionales de las leguminosas forrajeras y sus formas de cuantificación. *Pastos y forrajes* 27: 101-116.
- García DE, Medina MG, Ojeda F (2005) Efecto de la fertilización orgánica, la variedad y la época en el perfil polifenólico de *Morus alba* (L.). *Avanc. Inv. Agropec.* 9: 69-85.
- García DE, Medina MG (2006) Composición química, metabolitos secundarios, valor nutritivo y aceptabilidad relativa de diez árboles forrajeros. *Zootec. Trop* 24: 233-250.
- García EA, Kohashi SJ, Baca CGA, Escalante EJAS (2003) Rendimiento y asignación de materia seca de una variedad de frijol en un sistema hidropónico y suelo. *Terra Latinoam.* 21: 471-480.
- González GJC, Ayala BA, Gutiérrez VE (2006) Determinación de fenoles totales y taninos condensados en especies arbóreas con potencial forrajero de la región de Tierra Caliente Michoacán, México. *Livest. Res. Rural Dev.* 18: 1-10.
- Ingham RE (2005) *The Field Guide for Actively Aerated Compost Tea*. 1^a ed. Soil Foodweb. Corvallis, OR, EEUU. 79 pp.
- Javanmardi J, Stushnoff C, Locke E, Vivanco LM (2003) Antioxidant activity and total phenolic content of Iranian *Ocimum accessions*. *J. Food Chem.* 83: 547-550.
- López AR, Murillo AB, Rodríguez QG (2009) El forraje verde hidropónico (FVH): una alternativa de producción de alimento para ganado en zonas áridas. *Interciencia* 34: 121-126.
- Makkar HPS (2003) Chemical, protein precipitation and bioassays for tannins, tannin levels and activity in unconventional feeds, and effects and fate of tannins. En *Quantification of Tannins in Tree and Shrub Foliage*. Kluwer. Dordrecht, Holanda. pp 1-42.
- Martínez MAL, Pérez HM, Pérez AL, Gómez CG, Garzón SAI (2010) Efecto de la grasa de la dieta sobre la grasa láctea de los rumiantes: una revisión. *Interciencia* 35: 723-729.

- Mejía HJ, Mejía HI (2007) Nutrición proteica de bovinos productores de carne en pastoreo. *Acta Univ. 17*: 45-54.
- Müller L, Souza dos SO, Manfron PA, Petter MSL, Haut V, Dourado ND, Lemos de MN, Camacho GD (2006) Forrajes hidropónicos de milheto: producción e qualidade nutricional em diferentes densidades de sementeira e idades de colheita. *Ciencia Rural 36*: 1049-1099.
- Pant AP, Radovich TJK, Hue NV, Talcott ST, Krenek KA (2009) Vermicompost extracts influence growth, mineral nutrients, phytonutrients and antioxidant activity in pak choy (*Brassica rapa* cv. Bonsai, Chinensis group) grown under vermicompost and chemical fertilizer. *J. Sci. Food Agric. 89*: 2383-2392.
- Reed JD, Krueger C, Rodríguez G, Hanson J (2000) Secondary plant compounds and forage evaluation. En Givens DI, Owen E, Axford RFE, Omed HM (Eds.) *Forage. Evaluation in Ruminant Nutrition*. CABI, UK. Pp. 433-448.
- Repo de CR, Encina ZCR (2008) Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos de cereales andinos: quinoa (*Chenopodium quinoa*), Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) y Kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Soc. Quím. Perú 74*: 85-99.
- Rodríguez SAC (2003) *Como Producir con Facilidad, Rapidez y Óptimos Resultados Forraje Verde Hidropónico*. Diana. México, D.F. pp 69-70.
- Romero VME, Córdova DG, Hernández GEO (2009) Producción de forraje verde hidropónico y su aceptación en ganado lechero. *Acta Univ. 19*: 11-19.
- Salas Pérez L, Preciado RP, Esparza Rivera JR, Álvarez RV, Palomo GA, Rodríguez DN, Márquez HC (2010) Rendimiento y calidad de forraje hidropónico producido bajo fertilización orgánica. *Terra Latinoam. 28*: 355-360.
- SAS (1999) *Statistic Analysis System 9.0*. Program. Stat Soft. Inc. Cary, NC, EEUU.
- Sneath R, McIntosh F (2003) *Review of Hydroponic Fodder Production for Beef Cattle on Farm*. Meat & Livestock Australia Ltd. Australia. 54 pp.
- Theunissen J, Ndakidemi PA, Laubscher CP (2010) Potential of vermicomposta produced from waste on the growth and nutrient status in vegetable production. *Int. J. Phys. Sci. 5*: 1964-1973.
- Van Soest PJ, Mertens DR, Deinum B (1978) Preharvest factors influencing quality of conserved forage. *J. Anim. Sci. 47*: 712-720.
- Vargas RCF (2008) Comparación Productiva de Forraje Verde Hidropónico de Maíz, Arroz y Sorgo Negro Forrajero. *Agron. Mesoam. 19*: 233-240.
- Wing JR, Rojas BA (2006) Nitrógeno orgánico y químico en sorgo negro con cobertura permanente de mani forrajero. II. Fraccionamiento de la proteína. *Agron. Costarric. 30*: 61-69.
- Zhao X, Nechols JR, Williams KA, Wang W, Carey EE (2009) Comparison of phenolic acids in organically and conventionally grown pac choy (*Brassica rapa* L. chinensis). *J. Sci. Food Agric. 89*: 940-946.

¡ Interciencia en línea !

Haga clic en www.interciencia.org

Accederá a la versión electrónica de la revista y podrá:

- Navegar en los tres idiomas de *Interciencia*
- Ver los contenidos de los últimos catorce años
- Leer el material publicado que sea de su interés
- Realizar búsquedas por temas o por autores
- Ver el Arte de América en la colección de portadas
- Encontrar la guía para los autores
- Suscribirse
- Comunicarse con nosotros

www.interciencia.org