



Nova scientia

ISSN: 2007-0705

Universidad de La Salle Bajío A. C., Coordinación de Investigación

Salas Pérez, Lilia; Borroel-García, Victoria Jared; Ramírez-Aragón, Mercedes Georgina; Moncayo Luján, María del Rosario
Efecto de la adición de ácido ascórbico y té de compostela en la producción y capacidad antioxidante de forraje hidropónico de maíz
Nova scientia, vol. 10, núm. 20, 2018, pp. 47-63
Universidad de La Salle Bajío A. C., Coordinación de Investigación

DOI: 10.21640/ns.v10i20.1168

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=203358383004>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Efecto de la adición de ácido ascórbico y té de composta en la producción y capacidad antioxidante de forraje hidropónico de maíz Effect of the addition of ascorbic acid and compost tea on the production and antioxidant capacity of corn hydroponic forage

Lilia Salas Pérez¹, Victoria Jared Borroel-García¹, Mercedes Georgina Ramírez-Aragón¹ y María del Rosario Moncayo Luján¹

Palabras clave: forraje verde; producción orgánica; compuestos fenólicos; capacidad antioxidante
Keywords: green fodder; organic production; phenolics compounds; antioxidant capacity

Recepción: 19-09-2017 / Aceptación: 10-01-2018

Resumen

La producción de forraje verde hidropónico (FVH) es una opción que puede ayudar a resolver la problemática de la falta de suministro de forraje en épocas de sequía y escasez de alimento para ganado. Este tipo de forraje presenta rendimientos aceptables además de que tiene gran valor nutrimental y nutracéutico, por lo cual, puede promover la salud del ganado. El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de la aplicación de ácido ascórbico y té de composta en el sistema de producción de FVH de maíz. La investigación se realizó en la Región Lagunera, en un invernadero ubicado en el Ejido San Lorenzo, en el Municipio de San Pedro de las Colonias, en el Estado de Coahuila. Para la producción de FVH se utilizó semilla de maíz criollo variedad San Lorenzo, que fue evaluado en un diseño experimental completamente al azar con seis repeticiones por tratamiento, los cuales fueron: té de composta (TC), té de composta más ácido ascórbico (TCAA), agua más ácido ascórbico (AAA) y agua (A) como control. Las variables evaluadas fueron rendimiento, porcentaje de materia seca, contenido de fenólicos totales y capacidad antioxidante. El análisis de varianza mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en todas las variables evaluadas, atribuible a la aplicación de té de composta y ácido ascórbico. Se encontró un incremento del 41 % en el rendimiento con el tratamiento de té de composta en comparación con el control. Los resultados más altos en producción de materia seca que se encontraron fueron utilizando té de composta (TC) y la combinación té de composta- ácido ascórbico (TCAA) con 18.91 y 17.6 %, respectivamente. El tratamiento TCAA obtuvo un 49.5 % más de compuestos fenólicos totales respecto al control. Los resultados señalaron un incremento importante en la capacidad antioxidante total mediante la combinación TCAA con 25 y 32 % más (ABTS⁺ y DPPH⁺, respectivamente) en los valores obtenidos con respecto al control. Se concluye que el uso de fuentes

¹Universidad Politécnica de Gómez Palacio. Gómez Palacio, Durango. E-mail: vborroel@upgop.edu.mx
© Universidad De La Salle Bajío (México)

orgánicas como el ácido ascórbico y el té de composta mejoran el rendimiento y la capacidad antioxidante del forraje hidropónico, por lo cual es recomendable para su aplicación en sistemas de cultivo hidropónico de forraje orgánico.

Abstract

The production of hydroponic green forage (FHV) is an option that can help to solve the problem of the lack of forage supply in times of drought and shortage of food for livestock. This type of fodder presents acceptable yield besides being of great nutritional and nutraceutical value, for which it can promote the health of cattle. The aim of the present work was to determine the effect of the application of ascorbic acid and compost tea in the system production of hydroponic green forage. The research was carried out in the Lagunera Region, in a greenhouse located in the San Lorenzo Ejido, in the Municipality of San Pedro de las Colonias, in the State of Coahuila, Mexico. For the production of FVH, maize seed of the San Lorenzo variety was used, which was evaluated in a completely randomized experimental design with six replicates per treatment, which were: compost tea (TC), compost tea plus ascorbic acid (TCAA), water plus ascorbic acid (AAA) and water (A) as a control. The variables evaluated were yield, percentage of dry matter, total phenol content and antioxidant capacity. The analysis of variance showed significant differences ($p \leq 0.05$) in all variables evaluated, attributable to the application of compost tea and ascorbic acid. A 41% increase in yield was found with compost tea treatment compared to control. The highest results in dry matter production were found using Compost Tea (TC) and Compost Tea - Ascorbic Acid (TCAA) with 18.91 and 17.6%, respectively. The TCAA treatment obtained 49.5% more total phenolic compounds than the control. The results showed a significant increase in the total antioxidant capacity by the combination TCAA with 25 and 32% more (ABTS⁺ and DPPH⁺, respectively) in the values obtained with respect to the control. It is concluded that the use of organic sources such as ascorbic acid and compost tea improves the yield and antioxidant capacity of hydroponic forage, which is why it is recommended for application in hydroponic systems of organic forage.

Introducción

Un alimento complementario para ganado que puede ser utilizado en épocas de sequía y escasez es el forraje verde hidropónico (FVH), el cual se obtiene a partir de la germinación de semillas (Candia, 2014, 55). En este sistema pueden ser utilizadas semillas de gramíneas y leguminosas para obtener un forraje de alta calidad nutritiva (Rivera *et al.*, 2010, 33). Algunos autores indican que este sistema de producción puede presentar problemas técnicos que hacen que ésta metodología sea impráctica debido a la presencia de hongos y a la falta de semilla para una producción constante (Juárez-López *et al.*, 2013, 4). Sin embargo, su producción puede ser viable bajo condiciones ambientales controladas, obteniéndose así un forraje complementario (Naik *et al.*, 2015, 3). Algunos autores señalan que la viabilidad biológica y económica de la producción de FVH depende del sistema de germinación, tipo y calidad del grano, tasa de germinación, condiciones de cultivo, manejo y condiciones locales (Policarpo *et al.*, 2007, 1915; Dung *et al.*, 2010, 2487). El grano que más se utiliza en la producción de FVH es el maíz, siendo el cereal más popular y el de mayor volumen en todo el mundo y el alimento que puede ser aprovechado eficientemente para la nutrición del ganado debido a su valor nutrimental (Rivera *et al.*, 2010, 34).

El período de producción de FVH es de aproximadamente 9 a 12 días, donde se obtiene una alfombra con semillas germinadas, raíces blancas entrelazadas y brotes verdes (Al-Ajmi *et al.*, 2009, 345). Se ha demostrado que la composición nutrimental del FVH es mayor en comparación a la semilla sin germinar, encontrándose reportes de incrementos en fibra y digestibilidad *in vivo* (Shafqat 2013, 71; Fazaeli *et al.*, 2012, 537). Estos valores posiblemente han contribuido a un aumento en la productividad de los animales que consumen FVH (Fazaeli *et al.*, (2011, 368). Sneath y McIntosh (2003, 43) y Rodríguez-Muela (2004, 272) encontraron un aumento en la producción de leche y carne de ganado vacuno. Además, García *et al.* (2013, 171) obtuvieron un incremento significativo en peso vivo y en la producción de leche de cabra por la suplementación de FVH. Así mismo, Saidi y Omar (2015, 102) confirmaron un incremento del peso y producción de ovejas lactantes por consumo de FVH. Sin embargo, aunque dichos beneficios pueden ser atribuidos al valor nutrimental del FVH, no hay estudios suficientes que indiquen que la calidad nutracéutica del FVH tiene influencia en la suplementación del ganado, por lo cual es importante determinar su contenido de compuestos fitoquímicos que ayuden a promover la salud del ganado disminuyendo la incidencia de enfermedades y por ende aumentando su productividad (Fazaeli *et al.*, 2011, 368; Vélez *et al.*, 2014, 492). Dentro de estos compuestos se encuentran los compuestos

fenólicos, los cuales tienen efecto en múltiples actividades biológicas y pueden utilizarse comúnmente como antioxidantes para una amplia gama de aplicaciones alimentarias (Martínez-Valverde *et al.*, 2000, 7; Vélez *et al.*, 2014, 492). Debido al interés por incrementar el contenido de estos fitoquímicos en alimentos, existen trabajos que señalan que la aplicación ácidos orgánicos como salicílico, benzoico y ascórbico promueve la síntesis de compuestos fenólicos e incrementa la actividad antioxidante (Vázquez Díaz *et al.*, 2016, 3407; Salas-Pérez *et al.*, 2016, 3398; Esparza-Rivera *et al.*, 2006, 270). Por otro lado, en el sistema de producción de FVH se aplican soluciones nutritivas de fertilización para incrementar la producción de forraje fresco (Preciado *et al.*, 2014, 335). Sin embargo, una alternativa que ofrece valor agregado al alimento debido a la obtención de un alimento libre de químicos es la fertilización orgánica (Ángeles-Hernández *et al.*, 2014, 51). El té de composta, es el resultado de la adición de catalizadores microbianos a la compostación en medio acuoso y sometida a aireación (González-Solano *et al.*, 2013, 902). Este tipo de fertilizante orgánico se caracteriza por contener microorganismos benéficos y nutrientes que aportan a los cultivos vitalidad y fuerza para hacer frente a enfermedades y plagas, reduciendo el uso de fungicidas, herbicidas, plaguicidas y fertilizantes químicos (Moncayo-Lujan *et al.*, 2015, 73). De esta manera, el concepto de germinar un kilo de grano en un sistema hidropónico orgánico y obtener de 6 a 10 kilogramos de brotes verdes, independiente del clima y en cualquier época del año, es de interés para pequeños y medianos productores (SAGARPA, 2013, 2). Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de la aplicación de ácido ascórbico y té de compostación en el rendimiento de materia seca, forraje verde, contenido de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante total de forraje verde hidropónico de maíz.

Materiales y métodos

Localización del experimento

El trabajo se realizó en la Región Lagunera, ubicada en la parte central del Norte de México, con una altitud de 1,150 metros sobre el nivel del mar, precipitación media anual de 250 mm y temperatura media anual de 26.9 °C, con coordenadas geográficas de 24°30' N y 102°00' O (García, 1988, 48).

Desarrollo del cultivo

El cultivo se desarrolló en un invernadero ubicado en el Ejido San Lorenzo, Municipio de San Pedro de las Colonias, perteneciente a la Región Laguna de Coahuila. El invernadero tenía condiciones de iluminación natural y control de temperatura y humedad, los cuales estuvieron entre 25-30 °C y 70-80 %, respectivamente. La semilla utilizada fue un maíz tipo criollo variedad San Lorenzo. La semilla se limpió y se lavó con hipoclorito de sodio a una concentración de 1 mL·L⁻¹. Despues fue pre-germinada mediante inmersión en agua potable a 26 ± 2 °C durante 24 h. Posteriormente las semillas se escurrieron y se colocaron en recipientes de plástico perforados y cubiertos con plástico negro a 28 ± 2 °C durante 24 h para su germinación. La siembra consistió en colocar 3.5 kg·m⁻² de semillas germinadas con radículas de 1.5 a 2.0 cm de longitud en bandejas de poliestireno de 35 x 25 x 3.5 cm perforadas en el fondo. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con seis repeticiones por tratamiento. Cada bandeja representó una repetición. Los brotes fueron irrigados a suficiencia con agua potable, con un volumen de riego promedio de 9.87 L·m⁻²·día. El riego fue aplicado desde el día de la siembra cada hora durante un lapso de 2 min utilizando atomizador a presión desde las 12:00 hasta las 18:00 h a partir del primer día.

Preparación del té de composta

La composta utilizada (Cuadro 1) fue proporcionada por el Instituto Tecnológico de Torreón, habiendo sido sometida a compostaje por solarización. La preparación del té de composta (TC) se realizó mediante una fermentación aerobia de material vacuno compostado (100 g·L⁻¹ de agua) de acuerdo con el método de Ingham (2005) con ligeras modificaciones. Primeramente el material fue tamizado con filtro de *malla* N° 200 ASTM y pesado en una balanza granataria (Sartorius®). Posteriormente el material fue colocado en un recipiente de 60 litros de agua previamente aireada durante 2 h y se mezcló agitando constantemente. Para la aireación de la composta se colocó una bomba de oxígeno (Elite 800®) y se dejó durante 24 h. Posteriormente, la solución composta-agua fue sometida a decantación para separar el sedimento que contenía. Para disminuir la conductividad eléctrica de la solución de composta se diluyó con agua en una proporción de 0.1 L de té en 1.1 L de agua. El valor de CE inicial fue de 3.5 y la final de 1.6 dS m⁻¹.

Cuadro 1. Composición química de la composta utilizada.

	NO ₃	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Zn	Mn	Cu	pH
	(mg Kg ⁻¹)	%					mg Kg ⁻¹				
Composta	696	0.2 1	0.2 9	0.8 3	0.9 3	0.3 1	291	74	92	37	7.2

Tratamientos

Los tratamientos fueron: té de composta (TC), té de composta - ácido ascórbico (TCAA), para lo cual se agregó un gramo de ácido ascórbico a cada litro de té de composta diluido (1 g·L⁻¹), agua-ácido ascórbico (AAA) agregando un gramo de ácido ascórbico por litro de agua (1 g·L⁻¹) y agua (A) como control. Se omitió utilizar un tratamiento con solución nutritiva debido a la importancia de la aplicación de soluciones orgánicas como remplazo de la fertilización química.

Los tratamientos fueron aplicados dos veces al día (9:00 y 18:00 h), con un volumen promedio de 4.63 L·m⁻²·día⁻¹ utilizando atomizador a presión, a partir del día tres hasta el día establecido de cosecha (día 12). La concentración de nutrientes en los tratamientos utilizados se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Composición química de los tratamientos aplicados en la producción de forraje verde hidropónico de maíz.

Tratamientos	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	pH	CE
	mg L ⁻¹							dS m ⁻¹			
TCAA	196	39	52	80	87	12	3.9	.009	nd	5.0	1.5
TC	190	40	51	82	89	12.6	4.1	0.01	nd	7.0	1.6
AAA	nd	nd	18	43	6	10.1	nd	nd	nd	5.0	1.20
A	nd	nd	18	43	7	10.2	nd	nd	nd	7.6	1.15

TC: té de composta; TCAA: té de composta-ácido ascórbico; AAA: agua- ácido ascórbico; A: agua; CE: conductividad eléctrica; nd: no detectado.

Cosecha

La cosecha consistió en separar la alfombra forrajera de la bandeja a los 12 días después de la siembra. Se realizó un lavado con agua potable durante dos minutos para remover residuos de las soluciones.

Rendimiento de materia seca

Para la cuantificación de la materia seca se colocaron 12 g de muestra fresca en cajas de aluminio en estufa de aire forzado a 70 °C hasta peso constante de acuerdo con el método oficial de la AOAC

(2005, 1357). Los resultados fueron reportados en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$. Los componentes del rendimiento de forraje en base seca se determinaron para corroborar la calidad nutrimental del forraje, sin embargo en este trabajo se reportan los resultados de cuantificación nutracéutica.

Rendimiento en base peso fresco

La suplementación con FVH al ganado se realiza en fresco, debido a su alto contenido de humedad ayudando a ser más digerible el forraje. Para obtener la producción se empleó una balanza granataria (Pionner, Ohaus) pesando en fresco el forraje y reportándose como $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ en peso fresco.

Preparación de extractos

Para la determinación de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante las plantas fueron puestas a secar extendiendo en papel secante a la sombra a temperatura ambiente ($30 \pm 2^\circ\text{C}$) durante 15 días. La muestra seca se pulverizó manualmente utilizando mortero y pistilo, y almacenó en tubos de plástico a -18°C hasta la obtención de extractos. Para la obtención de extractos se mezclaron 200 mg de muestra seca en 10 mL de etanol absoluto en tubos Corning CentrisarTM con tapa de rosca y capacidad de 14 mL, los cuales fueron colocados en un agitador rotativo de tubos (Smartech) durante cuatro horas a 20 rpm. Los tubos fueron centrifugados a 3000 rpm durante cinco minutos, y el sobrenadante fue extraído para su análisis.

Determinación de compuestos fenólicos totales

El contenido de compuestos fenólicos totales fue cuantificado con base en el método Folin-Ciocalteau (Singleton *et al.*, 1999, 154). Se mezclaron 50 μL de muestra con 1.1 mL de agua destilada en un tubo de ensaye, a esta solución se le agregaron 120 μL de reactivo Folin-Ciocalteau (Sigma-Aldrich, St. Louis MO, EU) diluido ($1 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$), agitando en vórtex durante 10 segundos. Después de cinco minutos se añadieron 0.73 mL de carbonato de sodio (7.5 % p/v) agitándolo durante 10 segundos, luego se dejó reposar a temperatura ambiente durante 30 minutos y se leyó la absorbancia a 765 nm en espectrofotómetro (Thermo Spectronic, Genesys 10). El contenido fenólico se calculó mediante una curva patrón usando ácido gálico (Sigma, St. Louis, Missouri, EEUU) y los resultados se reportaron en mg de ácido gálico equivalente por kg en base seca (mg AGE· kg^{-1} BS). Los análisis fueron realizados por triplicado.

Determinación de la capacidad antioxidante total

Se evaluó la capacidad antioxidante total por los métodos ABTS⁺ y DPPH⁺ debido a que ambos presentan una excelente estabilidad en ciertas condiciones. Con el ABTS⁺ se puede medir la actividad de compuestos de naturaleza hidrofilica y lipofilica, mientras que el DPPH⁺ sólo puede disolverse en medio orgánico (Kuskoski *et al.*, 2005, 728).

Para el método ABTS⁺ se preparó una solución madre con 40 mg de ABTS⁺ 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid) (Aldrich, St. Louis, Missouri, EU) y 1.5 g de dióxido de manganeso (Fermont, Nuevo León, México) en 15 mL de agua destilada. La mezcla fue agitada vigorosamente y se dejó reposar cubierta durante 20 minutos. Luego, la solución se filtró en papel Whatman 40 (GE Healthcare UK Limited, Little Chalfont, Buckinghamshire, Reino Unido), y la absorbancia se ajustó a 0.700 ± 0.010 a una longitud de onda de 734 nm (espectrofotómetro Genesys 10) utilizando solución fosfato buffer 5 mM. Para la determinación de capacidad antioxidante se mezclaron 100 μ L de muestra y 1 mL de solución ABTS⁺, y después de 60 y 90 segundos de reacción se leyó la absorbancia de la muestra a 734 nm. Se preparó una curva estándar con Trolox (Aldrich, St. Louis, Missouri, EU) y los resultados se reportaron como capacidad antioxidante equivalente en μ M equivalente en Trolox por g base seca (μ M equiv Trolox·g⁻¹ BS). Los análisis se realizaron por triplicado.

Para el método DPPH⁺ se preparó una solución del radical libre 1,1-difenil-2-picril-hidrazilo (DPPH⁺) (Aldrich, St. Louis MO, EEUU) en un matraz completamente cubierto con papel aluminio, con 5 mg de DPPH⁺ /100 mL de etanol grado analítico; la mezcla fue agitada vigorosamente y el matraz se mantuvo cubierto para evitar la rápida degradación. Posteriormente fueron depositados 300 μ L de muestra de extracto diluido en tubos de ensayo, por triplicado y se adicionaron 1200 μ L de agua destilada agitándose a 3000 rpm durante 10 s. Se adicionó 1 mL de solución de DPPH⁺ y se agitó nuevamente en vórtex a 3000 rpm durante 10 s. Las lecturas fueron hechas en el espectrofotómetro a 515 nm después de 90 minutos. La actividad antioxidante total fue calculada mediante una curva patrón usando el antioxidante de referencia Trolox y los resultados fueron expresados en μ M equiv Trolox·g⁻¹ BS

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza usando el programa estadístico SAS (2009) y para las comparaciones de medias se usó la prueba de Tukey ($p<0.05$).

Resultados y discusión

Rendimiento de FVH en base materia seca

La producción de materia seca, fue diferente entre tratamientos ($p \leq 0.05$) (Figura 1). Los valores más altos se encontraron en los tratamientos de TC y TCAA con 22.94 y 18.06 kg·m⁻², respectivamente. Le siguieron el tratamiento agua-ácido ascórbico con 8.98 kg·m⁻² y el control obtuvo 7.88 kg·m⁻². Los resultados obtenidos se encuentran en el rango de lo reportado por Vargas (2008, 237) quien indicaron que es posible obtener valores de MS de 14 a 18 kg·m⁻² en sistemas hidropónicos.

En este trabajo, hubo un incremento del 34 % en materia seca por efecto de la aplicación de té de composta respecto al control, lo cual sugiere que esta fuente de fertilización pudo influir en un aumento de la absorción de nutrientes y en la fijación de esqueletos de carbono. García *et al.* (2003, 476) 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.

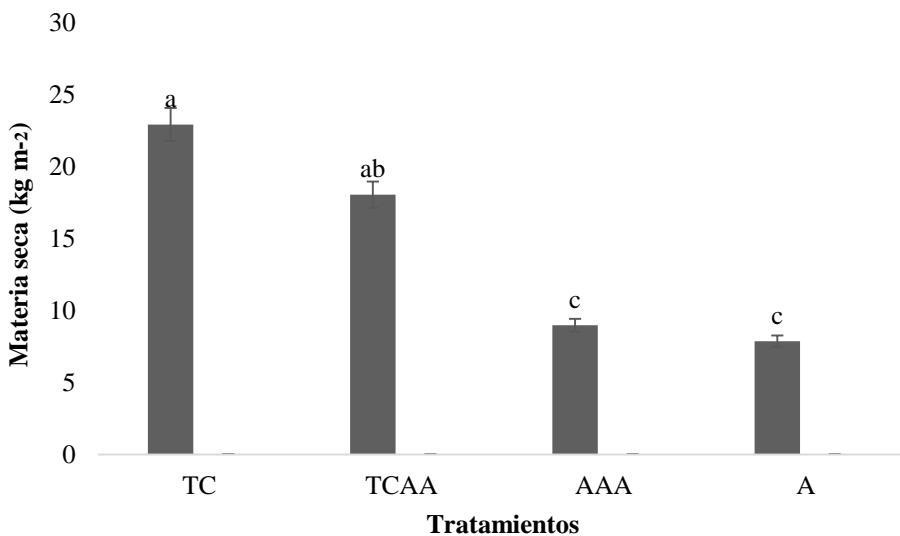


Figura 1. Materia seca de forraje verde hidropónico por aplicación de té de composta y ácido ascórbico. TC: té de composta; TCAA: té de composta-ácido ascórbico; AAA: agua-ácido ascórbico, A: agua. Barras con diferente letra indican diferencia estadística significativa (Tukey $p \leq 0.05$).

Rendimiento de FVH en base peso fresco

La producción de forraje en base fresca entre los tratamientos empleados fue diferente ($p \leq 0.05$). Se encontró mayor producción en los tratamientos donde se utilizó TC y TCAA, mientras que los

tratamientos AAA y A tuvieron los valores más bajos (Figura 2). El incremento de la producción para el tratamiento TC fue 41 % más, comparado al control.

Los tratamientos TC y TCAA superaron significativamente a AAA y A debido al bajo aporte nutrimental del agua potable (Cuadro 2); ya que la producción de biomasa en FVH se favorece cuando éste se fertiliza con al menos 200 mg L⁻¹ de N (FAO, 2001). En el presente estudio, ambos tratamientos de fertilización contenían la concentración suficiente de N para satisfacer los requerimientos del forraje. Vargas (2008, 236) indican que la fertilización es un factor que debe ser considerado para incrementar la producción de FVH, lo cual coincide con los resultados obtenidos en el presente trabajo, donde la concentración nutrimental de las soluciones nutritivas utilizadas (Cuadro 2) cubrieron los requerimientos del FVH. Preciado *et al.* (2014, 336) y Salas-Pérez *et al.* (2012, 216) señalan que los niveles de crecimiento y producción de biomasa en plantas fertilizadas con té de composta y de vermicomposta 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 orgánicos y otras sustancias biológicamente activas, actúan como reguladores de crecimiento vegetal, e incrementan finalmente la biodisponibilidad de los nutrientes para las plantas.

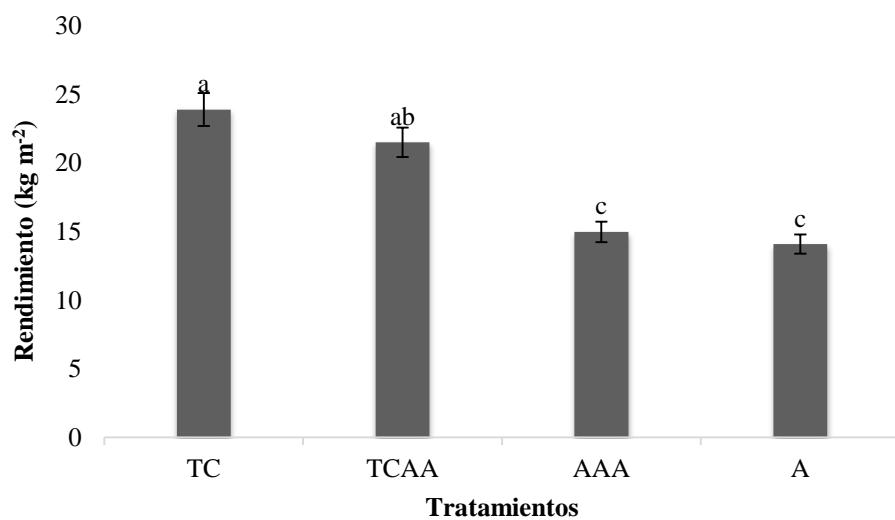


Figura 1. Producción de forraje verde hidropónico por aplicación de té de composta y ácido ascórbico. TC: té de composta; TCAA: té de composta-ácido ascórbico; AAA: agua-ácido ascórbico, A: agua. Barras con diferente letra indican diferencia estadística significativa (Tukey $p \leq 0.05$).

Contenido de compuestos fenólicos totales

El contenido de compuestos fenólicos totales fue diferente ($p \leq 0.05$) entre tratamientos (Cuadro 3). Hubo un incremento del 56 % más para el tratamiento TCAA respecto al tratamiento control. TCAA fue similar al tratamiento AAA. Le siguió el tratamiento TC y el tratamiento control generó menor contenido de compuestos fenólicos totales.

El contenido de compuestos fenólicos del FVH se encontraron en niveles menores al 1 % en base seca, lo cual es similar a lo reportado en especies con potencial forrajero (Repo y Encina, 2008, 97). De acuerdo con González *et al.* (2006, 8) forrajes con contenidos de compuestos fenólicos menores a 4 % en base seca pueden ser consumidos por rumiantes sin efectos negativos en la salud de los animales. Por otro lado Antolovich *et al.* (2000, 1006) indican que los compuestos fenólicos actúan a bajas concentraciones debido a que poseen una estructura química ideal para funcionar como antioxidantes. Por lo cual, es de interés este tipo de compuestos en los cultivos, siendo posible implementar herramientas para mejorar algunos aspectos en la calidad de productos de origen animal. Estas estrategias de alimentación parecen ser prometedoras ya que los consumidores exigen alimentos más sanos, obtenidos con sistemas de cultivo sustentables y libres de químicos (Vasta y Giussepe, 2011, 153).

Los resultados podrían indicar que las plantas en la producción de 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 compuestos fenólicos. Además, a edades tempranas de crecimiento regularmente existe una baja producción de compuestos fenólicos (Chirinos *et al.*, 2007, 441).

Por otro lado Pérez-Balibrea *et al.*, (2011, 37) señalaron que el uso de ácidos orgánicos favorece el contenido de compuestos fenólicos totales en germinados, lo cual concuerda con los resultados de este trabajo. Estos autores demostraron que la aplicación de 200 y 300 μM de ácido salicílico aumento, en un 26 y 18 % respectivamente, en el contenido de vitamina C en brotes de brócoli de 5 días de edad. Asimismo, la concentración de flavonoides también se incrementó en un 31 y 33 % después de 10 μM de ácido jasmónico y 100 μM de ácido salicílico, respectivamente, en brotes de brócoli de 7 días de edad. Asimismo, Purcarea y Cachita-Cosma (2010, 65) indican que la aplicación de ácido salicílico incrementó en 11 % la composición bioquímica y funcionalidad de brotes y semillas de cereales.

Cuadro 3. Contenido de compuestos fenólicos totales (CFT) y capacidad antioxidante total (CAT) en forraje verde hidropónico.

TRATAMIENTO	CFT mg AGE·kg ⁻¹ BS	CAT ABTS ⁺	CAT DPPH ⁺
		μM equiv Trolox·g ⁻¹ BS	
TC	1960±290b	423.12±26.88b	315.32±29.68b
TCAA	2670±305a*	497.98±27.02a	385.43±29.57a
AAA	2450±300ab	472.74±27.26ab	365.13±24.87ab
A	1350±300c	369.7±30.3c	258.21±31.1c

ABTS⁺: 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid). DPPH⁺: 1,1-difenil-2-picril-hidrazilo. *Valores con letras iguales en cada columna son iguales estadísticamente.

Capacidad antioxidante total

La capacidad antioxidante fue diferente entre tratamientos ($p \leq 0.05$) (Cuadro 2). La combinación té de composta y ácido ascórbico (TCAA) presentó los valores más altos de capacidad antioxidante tanto con el método ABTS⁺ como DPPH⁺. Estos valores fueron seguidos por el tratamiento de ácido ascórbico (AAA) y té de composta (TC). Los resultados señalan un incremento en la capacidad antioxidante total mediante la combinación TCAA, ya que según los métodos utilizados se obtuvo un 25 y 32 % más (ABTS⁺ y DPPH⁺, respectivamente) en los valores obtenidos con respecto al testigo. Por otro lado, se observó una tendencia similar en ambos métodos de análisis de capacidad antioxidante, encontrándose valores más altos con el método ABTS⁺, lo cual es concordante con la literatura, debido a que con este método es posible detectar compuestos tanto de naturaleza hidrofílica como lipofílica (Kuskoski *et al.*, 2005, 729).

Por otro lado, la mayor capacidad antioxidante encontrada concuerda con los resultados obtenidos de compuestos fenólicos, bajo los mismos tratamientos, siendo éstos posiblemente los compuestos con mayor capacidad antioxidante en las muestras, que dependen a su vez de la naturaleza y concentración de los diferentes polifenoles presentes en la planta (Fredes *et al.*, 2013, 34). En este trabajo, la mayor capacidad antioxidante en los tratamientos puede ser atribuida a que el ácido ascórbico estimuló rutas enzimáticas de formación de compuestos antioxidantes, lo cual es coincidente con el trabajo de Vázquez-Díaz *et al.* (2016, 3407), quienes obtuvieron un incremento en la capacidad antioxidante de tomate debido a la aplicación de ácidos orgánicos.

Diversos estudios han comprobado la importancia de alimentar a los animales con antioxidantes y su relación con el estrés oxidativo, teniendo en cuenta la importancia en cada etapa. Por tanto, el efecto antioxidante no sólo afectará positivamente al estado de salud de los animales, sino que también, añadirá valor a la calidad del producto final: carne y leche (Monahan, 2002, 92). Por ello, una alimentación adecuada y unas condiciones ambientales correctas, ayudarán a incrementar la barrera antioxidante, posibilitando que los antioxidantes ayuden a contrarrestar los efectos de muchas de las patologías más frecuentes en ganado como cetosis, hipocalcemias, mastitis, entre otras (Nam *et al.*, 2003, 517). Además, los nutrientes aportados durante la alimentación del animal afectarán positivamente a la composición de la carne y la leche que produzca (Cancho *et al.*, 2000, 42).

Conclusiones

El rendimiento en base seca, contenido de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante del forraje verde hidropónico de maíz obtenido fueron similares en los tratamientos de té de composta y la combinación té de composta ácido ascórbico, superando a la producción de forraje sin el empleo de la fertilización. Los compuestos fenólicos contenidos en el forraje pueden actuar como antioxidantes. En términos económicos y de trabajo en la elaboración y manejo del té de composta puede ser factible debido a que es posible aprovechar los desechos orgánicos del ganado haciendo uso sustentable de los recursos disponibles en hatos o granjas de medianos y pequeños productores. Asimismo, representaría un ahorro económico debido a la disminución del gasto por suplementos y medicamentos. Por lo tanto, es recomendable el uso de soluciones orgánicas como té de composta y ácido ascórbico en la producción de FVH de maíz, debido a las ventajas que dichas soluciones representarían desde el punto de vista de inocuidad y beneficios para el consumo del ganado.

Referencias

Al-Ajmi, A., A. Salih, I. Kadhim and Othman. (2009). Yield and water use efficiency of barley fodder produced under hydroponic system in GCC countries using tertiary treated sewage effluents. *Journal of Phytology*, 1: 342-348.

- Ángeles-Hernández, J. C., Pérez-Hernández, A. H., Malcher-Pérez-Rocha, J. y González-Ronquillo, M. (2014). Producción orgánica de leche de oveja. Tropical and Subtropical Agroecosys.Tems, 17: 49-58.
- Antolovich, M., Prenzler, P., Robards, K. and Ryan, D. (2000). Sample preparation in the determination of phenolic com- pounds in fruits. Critical review. Analyst, 125: 989-1009.
- AOAC International. Official Methods of Analysis. (2005). EEUU. 18th ed. www.aoac.org. Pp 1357.
- Cancho, G.B, Falcón G.M.S y Gándara S. (2000). El uso de los antibióticos en la alimentación: perspectiva actual. Ciencia y Tecnología Alimentaria, 3:39-47.
- Candia, L. (2014). 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 y Tecnología Veterinaria, 2:55-62.
- Chirinos, R., Campos, D., Arbizu, C., Rogez, H., Rees, J.F., Larondelle, Y., Noratto, G. and Cisneros, Z.L. (2007). Effect of genotype maturity stage and post-har- vest storage on phenolic compounds, carotenoid content and antioxidant capacity of Andean mashua tubers (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón). Journal of the Science of Food and Agriculture. 87: 437-446.
- Chung, T., E.N. Nwokolo and J.S. Sim, (1989). Compositional and digestibility changes in sprouted barley and canola seeds. Plant Foods for Human Nutrition, 39: 267-278.
- Dung, I. D. D., Goodwin, I. R. and Nolan, J. V. (2010). Nutrient content and in sacco digestibility of barley grain and sprouted barley. Journal of Animal and Veterinary Advances, 9: 2485-2492.
- Esparza-Rivera J.R., Stone M.B., Stuchnoff C., Pilon-Smits E. and Kendall P.A. (2006). Effects of ascorbic acid applied by two hydrocooling methods on physical and chemical properties of green leaf stored at 5 °C. Journal of Food Science, 71(3):270–6.
- Fazaeli, H., Golmohammadi, H. A., Shoayee, A. A., Montajebi, N. and Mashraf, S. (2011). Performance of feedlot calves fed hydroponics fodder barley. Journal of Agricultural Science and Technology, 13:367-375.
- Fazaeli, H., Golmohammadi, H. A., Tabatabayee, S. N. and Asghari-Tabrizi, M. (2012). Productivity and nutritive value of barley green fodder yield in hydroponic system. World Applied Sciences Journal, 16:531-539.

- Fredes, C., Montenegro, G.; Santander, F.; Jara, C. y Núñez, G. (2013). Actividad antioxidante y antimicrobiana de mieles monoflorales de plantas nativas chilenas. Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas, 12:33-38.
- García, E. (1988). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a la condiciones de la República Mexicana). Offset Larios S.A. México D.F. p. 46-52.
- García, E.A., Kohashi, S.J., Baca, C.G.A. y Escalante, E.J.A.S. (2003) Rendimiento y asignación de materia seca de una variedad de frijol en un sistema hidropónico y suelo. Terra Latinoamericana, 21: 471-480.
- García C.M., Salas P. L., Esparza R.J.R., Preciado R.P. y Romero P.J. (2013). Producción y calidad fisicoquímica de leche en cabras suplementadas con forraje verde hidropónico de maíz. Agronomía Mesoamericana, 24:169-176.
- González, G.J.C., Ayala, B.A. y Gutiérrez, V.E. (2006). Determinación de fenoles totales y taninoscondensados en especies arbóreas con potencial forrajero de la región de Tierra Caliente Michoacán, México. Livestock Research for Rural Development, 18: 1-10.
- González Solano, K.D., Rodríguez Mendoza, M., Las Nieves, D., Trejo Téllez, L.I., Sánchez Escudero, J y García Cué, J.L. (2013). Propiedades químicas de té de vermicomposta. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 4:901-911.
- Ingham RE. (2005). The Field Guide for Actively Aerated Compost Tea. Soil Foodweb Corvallis. 1:79. EEUU.
- Kuskoski, M., Asuero, A. y Troncoso, A. (2005). Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. Ciencia e Tecnología de Alimentos, 25:726–732.
- Martínez-Valverde, I., Periago, M. J. y Ros, G. (2000). Significado nutricional de los compuestos fenólicos de la dieta. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 50:5-18.
- Monahan, F. J. (2002). Oxidación de los lípidos de la carne y los productos cárnicos: implicaciones y prevención. Eurocarne 109, 89-96.
- Moncayo-Lujan, M.D.R.; Álvarez R.V.D.P.; González C.G.; Salas-Pérez L. y Chávez S.J.A. (2015). Producción orgánica de albahaca en invernadero en Comarca Lagunera. Terra Latinoamericana, 33: 69-77.
- Naik, P. K., Swain, B. K., and Singh, N. P. (2015). Production and utilisation of hydroponics fodder. Indian Journal of Animal Nutrition, 32:1-9.

- Nam, K.C., Min, B. R., Yan, H., Lee, E. J., Mendonca, A., Wesley, I. and Ahn, D. U. (2003). Effect of dietary vitamin E and irradiation on lipid oxidation, color, and volatiles of fresh and previously frozen turkey breast patties. *Meat Science*. 65, 513-521.
- Pérez-Balibrea, S., Moreno, D. A. and García-Viguera, C. (2011). Improving the phytochemical composition of broccoli sprouts by elicitation. *Food Chemistry*, 129:35-44.
- Policarpo E.R., Luis Manuel E.M. and Claudio Arturo P.M. (2007). Hydroponic forage wheat production. *African Crop Science Conference Proceedings*, 8: 1915-1916.
- Preciado R. P., García Hernández, J. L., Segura Castruita, M. Á., Salas Pérez, L., Ayala Garay, A. V., Esparza Rivera, J. R. y Troyo Diéguez, E. (2014). Efecto del lixiviado de vermicomposta en la producción hidropónica de maíz forrajero. *Terra Latinoamericana*, 32:333-338.
- Purcarea, C. and Cachita-Cosma, D. (2010). Studies regarding the effects of salicylic acid in maize (*Zea mays L.*) seedling under salt stress. *Studia Universitat, Seria Tiintele Vietii*. 1:63-68.
- Repo, de C.R. y Encina, Z.C.R. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos de cereales andinos: quinoa (*Chenopodium quinoa*), Kañiwa (*Chenopodium pallidacaule*) y Kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Sociedad Química del Perú*. 74: 85-99.
- Rivera, A., Moronta, M., González-Estopiñán, M., González, D., Perdomo, D., García, D. E. y Hernández, G. (2010). Producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays L.*) en condiciones de iluminación deficiente. *Zootecnia tropical*, 28(1), 33-41.
- Rodríguez-Muela, C., Rodríguez, H.E., Ruiz, O., Flores, A., Grado, J.A. and Arzola, C. (2004). Use of green fodder produced in hydroponic system as supplement for lactating cows during the dry season. *Proceedings of the American Society of Animal Science*, 56:271-274.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2013). Forraje Verde Hidropónico, opción que ofrece SAGARPA ante la sequía. Boletín de prensa. Pachuca de Soto, Hidalgo. México. Pp 2.
- Saidi, A. R. M. and Omar, J. A. (2015). The biological and economical feasibility of feeding barley green fodder to lactating awassi ewes. *Open Journal of Animal Sciences*, 5: 99-105.
- Salas Pérez, L., Esparza Rivera, J. R., Preciado Rangel, P., Álvarez Reyna, V. D. P., Meza Velázquez, J. A., Velázquez Martínez, J. R. y Murillo Ortiz, M. (2012). Rendimiento, calidad nutricional, contenido fenólico y capacidad antioxidante de forraje verde

- hidropónico de maíz (*Zea mays*) producido en invernadero bajo fertilización orgánica. *Interciencia*, 37:215-220.
- Salas-Pérez L., Gaucín D.J.M., Preciado R.P., Fortis H.M., Valenzuela G.J.R. y Ayala G.A.V. 2016. Efecto del ácido benzoico en la capacidad antioxidante de germinados de trigo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 17: 3397-3404.
- SAS (Statistical Analisys System) Institute. (2009). Versión 9.0 SAS Inst., Cary NC. USA.
- Shafqat, S. (2013). Effect of different sprouting conditions on alpha amylase activity, functional properties of wheat flour and on shelf-life of bread supplemented with sprouted wheat (Doctoral dissertation). 120 p. Canada. <Http://hdl.handle.net/10214/6672>.
- Singleton, V.L., Orthofer R. and Lamuel-Raventos, L.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods Enzymology*, 299: 152-178.
- Sneath, R. and McIntosh, F. (2003). Review of hydroponic fodder production for beef cattle. Department of Primary Industries: Queensland Australia 84. McKeehen, p. 54.
- Vargas R.C.F. (2008). Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. *Agronomía Mesoamericana*, 19: 233-240.
- Vasta, V and Giuseppe, L. (2011). The effects of dietary consumption of plants secondary compounds on small ruminants' products quality. *Small Ruminant Research*, 101:150–159.
- Vázquez-Díaz, D.A., Salas-Pérez, L., Preciado-Rangel, P., Segura-Castruita, M.A., González-Fuentes, J.A. y Valenzuela-García, J.R. (2016). Efecto del ácido salicílico en la producción y calidad nutracéutica de frutos de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Pub. Esp. Núm. 1712 de noviembre - 31 de diciembre, 2016 p. 3405-3414.
- Vélez, O.M., Campos, R. y Sánchez, H. (2014). Uso de metabolitos secundarios de las Plantas para reducir la metanogénesis ruminal. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17: 489 – 499.