

**ANTIOXIDANTES EN MAÍZ FORRAJERO  
BAJO FERTILIZACIÓN ORGÁNICA**

**LILIA SALAS PÉREZ**

**TESIS**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

**DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA**

**ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA**

**SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO**

Director: Ph. D. Vicente de Paul Alvarez Reyna

Co-Director: Ph. D. Juan Ramón Esparza Rivera

Torreón, Coahuila. México

Noviembre de 2011

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA**

**ANTONIO NARRO**

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

**ANTIOXIDANTES EN MAÍZ FORRAJERO BAJO FERTILIZACIÓN ORGÁNICA**

TESIS

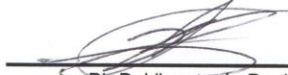
LILIA SALAS PÉREZ

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS**

**Comité Particular**


Director

  
Ph.D. Vicente de Paul Álvarez Reyna

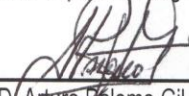
Co-Director

  
Ph. D. Juan Ramón Esparza Rivera


Asesor


  
Dr. Pablo Preciado Rangel

Asesor

  
Ph.D. Arturo Palomo Gil

Asesor

  
Dr. Emiliano Gutiérrez del Río

  
Dr. Fernando Ruíz Zarate  
Subdirector de Postgrado

  
Dr. Pedro Antonio Robles Trillo  
Jefe del Departamento de Postgrado

Torreón, Coahuila, México.  
NOVIEMBRE, 2011

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por las bendiciones que ha derramado en mi camino por esta vida.

Muy especialmente a mi comité particular de tesis por permitirme satisfacer una de mis inquietudes en la investigación. Ustedes formaron parte muy importante en mi formación, preparación académica y personal.

Ph. D. Vicente de Paul Alvarez Reyna, por su apoyo desde el primer momento que lo conocí hace cinco años y por darme la oportunidad de ser mi Director de tesis. Gracias por su paciencia doctor.

Ph. D. Juan Ramón Esparza Rivera, por su ayuda incondicional en todo momento. Gracias por enseñarme la técnica Folin-Ciocalteau y el método TEAC. Por su invaluable apoyo durante las pruebas preliminares y la estandarización de las técnicas. En la revisión de los artículos y la tesis. Sin su ayuda este trabajo no hubiera logrado su propósito.

Dr. Pablo Preciado Rangel, por compartir conmigo su experiencia y conocimiento. Así como por el empuje que siempre me dio para sacar este trabajo a flote.

Ph. D. Arturo Palomo Gil, por su valioso apoyo y su siempre amable sonrisa.

Dr. Emiliano Gutiérrez del Rio, por ser para mí un ejemplo de vida, tenacidad y lucha.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro UL por abrirme las puertas para estudiar el doctorado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada.

Al Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología por el apoyo para terminación de tesis

Al Dr. Adalberto Benavides Mendoza por su ayuda durante mi estancia en Saltillo para la realización de análisis bromatológicos.

Al M.C. Gerardo Arellano Rodríguez por el interés que siempre mostró en mi desempeño.

Al Dr. Pedro Robles Trillo por facilitarme el acceso al laboratorio de bromatología para los análisis del forraje y su interés en el tema de investigación.

A mis profesores del Postgrado. Dr. Vicente Hernández Hernández, Dr. Mario García Carrillo y Dr. Jesús Vázquez Arroyo.

A Normita, Lety y al Ing. Leos, por la ayuda y amistad que me brindaron en el laboratorio de suelos, bromatología y horticultura respectivamente.

A mis compañeros estudiantes de Postgrado por todos los momentos agradables y las experiencias compartidas. Especialmente Anita y Juan Gabriel.

## DEDICATORIAS

Esta tesis la dedico con amor y gratitud a mi familia, porque siempre me da ánimo para lograr mis propósitos.

### **A mi mamá: Sarita**

Porque has estado a mi lado para apoyarme en todos mis proyectos sacrificando tus intereses y tu tiempo.

### **A mi papá: Guillermo**

Por tu gran ejemplo, buen humor, consejos y apoyo en todos los sentidos.

### **A mi esposo: Antonio**

Porque eres la mayor motivación para mí.

### **A mis hijitos:**

**Toñito (15)**

**Carmelita (13)**

**Perlita (11)**

**Estrellita (9)**

**Josecito (6)**

**Emilianito (2)**

Regalos de Dios. Luz y motor de mi vida. Mi más grande inspiración.

Les he limitado mi tiempo, pero nunca mi amor. Ustedes ocupan por igual el lugar más importante en mi corazón. Los amo mis bebés, recuerden que mi amor y consejo para ustedes siempre está presente en todo momento y donde quiera que se encuentren.

**A mis Hermanitos:** Francisco y Víctor.

*“Lo ideal no consiste en hacer cosas extraordinarias, sino en hacer cosas ordinarias extraordinariamente bien hechas.” (San Vicente de Paul)*

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Página</b>
COMPENDIO	i
ABSTRACT	iii
INTRODUCCIÓN	1
HIPÓTESIS	3
OBJETIVOS	3
CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	
1.1. Generalidades	4
1.2. Producción de forraje	5
1.3. Hidroponía	6
1.4. Producción de forraje en sistemas controlados	7
1.5. Forraje verde hidropónico	8
1.5.1. Producción del forraje verde hidropónico. Ventajas y desventajas.	9
1.5.2. Semilla requeridas para la producción de forraje verde hidropónico	10
1.5.3. Proceso de germinación y desarrollo del forraje verde hidropónico	10
1.5.4. Metodología de producción de forraje verde hidropónico	13
1.5.5. Desarrollo del forraje verde hidropónico	16
1.6. Fertilización orgánica	19
1.6.1. Te de composta y vermicomposta	20
1.7. Compuestos fenólicos	20
1.7.1. Función de los compuestos fenólicos	21
1.7.2. Mecanismo de biosíntesis de los compuestos fenólicos	23
1.8. Regulación de los compuestos fenólicos	26
1.9. Antioxidantes	28
1.9.1. Tipos de antioxidantes presentes en las plantas	29
1.10. Cuantificación de capacidad antioxidante y compuestos fenólicos	30

CAPÍTULO 2. ARTÍCULOS	31
2.1.    RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FORRAJE HIDROPÓNICO PRODUCIDO BAJO FERTILIZACIÓN ORGÁNICA	32
2.2.    RENDIMIENTO, CALIDAD NUTRICIONAL, CONTENIDO FENÓLICO Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE MAÍZ ( <i>ZEA MAYS</i> ) PRODUCIDO EN INVERNADERO BAJO FERTILIZACIÓN ORGÁNICA	39
CAPÍTULO 3. DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES	
3.1.    Discusión general	53
3.2.    Conclusiones	55
CAPÍTULO 4. BIBLIOGRAFÍA	56
CAPÍTULO 5. ANEXOS	62

**COMPENDIO**

**ANTIOXIDANTES EN MAÍZ FORRAJERO BAJO FERTILIZACIÓN ORGÁNICA**

**POR**

**LILIA SALAS PÉREZ**

**DOCTORADO EN CIENCIAS AGRARIAS**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA**

El forraje verde hidropónico es el resultado del proceso de germinación y crecimiento temprano de plántulas provenientes de semilla forrajera y destaca por una elevada producción de biomasa en ciclos cortos de tiempo. Su principal objetivo es cubrir las necesidades nutricionales de los animales sobre todo cuando la producción y disponibilidad de forraje tradicional es baja. El forraje verde hidropónico es un alimento altamente nutritivo que puede ser incluido en la dieta de rumiantes ya que se ha encontrado en otros estudios que se incrementa su fertilidad y productividad, además se disminuye la incidencia de algunas enfermedades. Los efectos benéficos del consumo de forraje verde hidropónico sobre la salud del ganado han sido atribuidos generalmente a su calidad bromatológica, sin embargo, las plantas también contienen compuestos fitoquímicos con elevada bioactividad como los compuestos fenólicos. Estos compuestos constituyen un amplio grupo de sustancias químicas consideradas metabolitos secundarios de las plantas y se relacionan con el mejoramiento del valor nutritivo y por ende de la salud animal. Esto ha generado un creciente interés por su evaluación en forraje ya que se ha reportado que concentraciones mayores al 5% base seca limitan el consumo de materia seca y la digestibilidad, mientras que niveles inferiores presentan propiedades antioxidantes, activan el sistema inmune e incrementan la absorción de proteína en rumiantes, razón por la cual han sido recomendados como aditivos en los preparados alimenticios para ganado. El contenido de los compuestos fenólicos en las plantas está en función de factores como la especie, variedad, tejido vegetal,



condiciones ambientales y condiciones de manejo agronómico, entre las que destaca la fertilización. En algunas especies forrajeras el contenido de compuestos fenólicos varía con el tipo de fertilización aplicada ya sea orgánica o convencional pero no existe información del contenido de estos compuestos en forraje hidropónico. Por otro lado, además de la fertilización, existen otros factores que afectan el rendimiento y la calidad bromatológica del forraje como lo es el genotipo y el día de cosecha porque permiten determinar el material genético con mayor potencial y encontrar el momento óptimo para cosechar. El objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar la factibilidad de sustituir la fertilización química por orgánica y su respuesta en rendimiento, calidad bromatológica, contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del forraje verde hidropónico de maíz producido en invernadero. Asimismo, determinar el efecto del tipo de fertilización, genotipo y día de cosecha sobre el rendimiento y calidad bromatológica de dicho tipo de forraje hidropónico. Los resultados obtenidos en el presente trabajo indican que el rendimiento, calidad bromatológica, contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del forraje fertilizado con soluciones orgánicas no fueron diferentes comparados con el fertilizado tradicionalmente aplicando soluciones químicas, por lo cual se concluye que es posible sustituir la fertilización química por la orgánica en forraje verde hidropónico de maíz en invernadero. Los mayores rendimientos del forraje verde hidropónico se obtuvieron el día de cosecha 16, no habiendo diferencia por el tipo de fertilización utilizada. Por otra parte aunque la edad de la planta al momento de la cosecha es temprana (12 a 16 días de crecimiento), es necesaria la fertilización para obtener alto nivel de rendimiento. Asimismo, todos los valores de calidad bromatológica del forraje verde hidropónico estuvieron dentro de los rangos recomendados. Con respecto al contenido fenólico, los niveles encontrados son adecuados para su consumo por rumiantes, ya que se encontró en niveles por debajo del 4% en base a materia seca. Por otra parte, la capacidad antioxidante del forraje verde hidropónico fue considerada relativamente baja debido a factores tales como la temprana edad de la planta al momento de la cosecha y el adecuado suministro de nutrientes, así como las condiciones controladas del invernadero en el que se obtuvo el forraje. Se concluye que el forraje verde hidropónico fertilizado orgánicamente es una alternativa de producción viable que puede ser utilizada en la nutrición animal.

**Palabras clave:** *Forraje hidropónico, compuestos fenólicos, capacidad antioxidante, rendimiento, calidad bromatológica, fertilización química, fertilización orgánica.*

## **ABSTRACT**

# **ANTIOXIDANTS IN CORN FORAGE UNDER ORGANIC FERTILIZATION**

**By**

**LILIA SALAS PÉREZ**

**DOCTOR'S DEGREE IN AGRARIAN SCIENCE**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA**

The green fodder hydroponic is the result of the germination and early growth of seedlings forage stands out for high biomass production in short period of time. Its main objective is to satisfy the needs animals' nutrition especially when the availability and production of traditional forage is low. The green fodder hydroponic is a highly nutritious feed that can be included in the diet of ruminants and has been found in other studies that increases the fertility and productivity, and decreases the incidence of some diseases. The beneficial effects of green fodder hydroponic consumption on the livestock health have been generally attributed to its bromatological quality. However, the plants also contain phytochemicals compounds with high bioactivity such as phenolic compounds. These compounds are considered secondary plants' metabolites and are associated with improved nutritional value and the animal health. This has generated a growing interest to evaluate in forage since it has been reported that concentrations greater than 5% dry basis limit dry matter intake and digestibility, while lower levels have antioxidant properties, activate the immune system and increase the absorption ruminant protein, which is why they are recommended as additives in livestock feed preparations. The content of phenolic compounds in plants is based on factors such as species, variety, plant tissue, environmental conditions and agronomic conditions, among which fertilization. In some species forage phenolic content varies with the type of fertilizer applied either organic or conventional but there is not information content of these compounds in hydroponic fodder. On the other hand, in addition to fertilization, there are other factors that affect performance and quality of forage bromatological such as genotype and day of harvest because they allow genetic material to determine the potential and find the best time to harvest. The objective of this research was to evaluate the feasibility of replacing the chemical fertilizers by organic and its response in the production,

quality bromatological, phenolic content and antioxidant capacity of green fodder hydroponic of maize. It also determined the effect of type of fertilization, genotype and day of harvest on yield and quality of this type bromatological hydroponic fodder. The results obtained in this study indicate that the performance, quality bromatological, phenolic content and antioxidant capacity of forage fertilized with organic solutions were not different compared to the traditionally fertilized using chemical solutions, thus concludes that it is possible to replace the chemical fertilizers for organic in green fodder hydroponic. The highest yields of green fodder hydroponic were obtained at day 16 of harvest, there being no difference by type of fertilizer used. On the other hand although the age of the plant when the harvest is early (12 to 16 days of growth), fertilization is required for high performance. Also, all the values of quality bromatological of green fodder hydroponic were within recommended range. With respect to the phenolic content of green fodder hydroponic, the levels found in forage produced are suitable for consumption by ruminants. Moreover, the antioxidant capacity of green fodder hydroponic was considered relatively low due to factors such as age of the plant at harvest and adequate supply of nutrients and greenhouse controlled conditions which obtained forage. It is concluded that organically fertilized of green fodder hydroponic is a viable production alternative that can be used in animal nutrition.

**Keywords:** *hydroponic forage, phenolic compounds, antioxidant capacity, production, bromatological quality, chemical fertilization, organic fertilization.*

## INTRODUCCIÓN

La Comarca Lagunera, considerada como la primer cuenca lechera a nivel nacional, destaca por ser una importante región ganadera, de ahí que la producción de forraje ocupe un lugar prominente en la actividad agrícola. Del total de la superficie destinada a la agricultura en la Comarca Lagunera (196, 940 has<sup>-1</sup> en 2010), el 60 % son cultivos forrajeros y la mayor parte se destina a la alimentación de ganado bovino (SIAP, 2009). Por otro lado, los forrajes se catalogan como cultivos de alta demanda hídrica y a la vez como ineficientes en el uso de agua ya que el 61 % de la superficie total de forraje se riega con agua subterránea con una eficiencia del 60 % (Salazar *et al.*, 2007), es decir, el 40 % del agua aplicada no es utilizada por el cultivo y se escapa a la atmosfera en forma de vapor. El sistema de producción de forraje actual ha traído consecuencias negativas como el desplazamiento de terrenos para el cultivo de alimentos, agotamiento del suelo e incluso contaminación por nitratos debido a excesivas aplicaciones de fertilizantes, poniendo en riesgo la sustentabilidad de este sistema (García, 2005).

En la Comarca Lagunera, se ha desarrollado una importante oportunidad de crecimiento para la explotación de ganado caprino logrando obtener los primeros lugares en producción de carne y leche a nivel nacional, sin embargo, este sector se encuentra restringido debido a que las explotaciones caprinas requieren la compra de insumos de alto costo económico como concentrados y minerales para mantener niveles adecuados de producción llegando a oscilar entre 60 y 75 % de los costos. La situación se torna más difícil cuando el sistema de explotación es extensivo o de pastoreo, ya que los animales se encuentran en malas condiciones de nutrición y su salud y productividad se ve disminuida. Por lo tanto, es de gran importancia la búsqueda de sistemas competitivos y sustentables a través de la investigación en el uso de tecnologías como invernaderos y sistemas de producción hidropónica que permiten el ahorro del recurso hídrico y aseguran una producción continua de forraje verde durante todo el año (Vargas, 2008).

El forraje verde hidropónico (FVH) es el resultado de la germinación y crecimiento de plántulas provenientes de semilla forrajera durante períodos cortos de tiempo y dentro de sus principales ventajas está la alta productividad de biomasa, además de su bajo consumo de agua (López *et al.*, 2009). En la producción de FVH deben considerarse factores importantes como la fertilización, genotipo y día de cosecha (Müller *et al.*, 2006), los cuales influyen en el rendimiento y valor nutritivo (Romero *et al.*, 2009).

El forraje verde hidropónico ofrece una serie de ventajas entre las que destaca el alto valor nutritivo, el cual, al ser incluido en la dieta de rumiantes incrementa la productividad y fertilidad del ganado además de disminuir la incidencia de algunas enfermedades (FAO, 2001). Los efectos benéficos del consumo de forraje verde hidropónico sobre la salud del ganado han sido atribuidos generalmente a su calidad bromatológica, sin embargo, las plantas también contienen compuestos fitoquímicos con elevada bioactividad como los compuestos fenólicos. Estos compuestos constituyen un amplio grupo de sustancias químicas consideradas metabolitos secundarios de las plantas y se relacionan con el mejoramiento del valor nutritivo y por ende de la salud animal (Makkar, 2007). Esto ha generado un creciente interés por su evaluación en forraje ya que se ha reportado que concentraciones mayores al 5% base seca limitan el consumo de materia seca y la digestibilidad, mientras que niveles inferiores presentan propiedades antioxidantes, activan el sistema inmune e incrementan la absorción de proteína en rumiantes, razón por la cual han sido recomendados como aditivos en los preparados alimenticios para ganado (Lasa *et al.*, 2010). El contenido de los compuestos fenólicos en las plantas está en función de factores como la especie, variedad, tejido vegetal, condiciones ambientales y condiciones de manejo agronómico, entre las que destaca la fertilización (Alizadeh *et al.*, 2010). En algunas especies forrajeras el contenido de compuestos fenólicos varía con el tipo de

fertilización aplicada ya sea orgánica o convencional pero no existe información del contenido de estos compuestos en forraje hidropónico.

## **OBJETIVOS**

1. Evaluar el tipo de fertilización, genotipo y día de cosecha sobre el rendimiento y calidad bromatológica del forraje verde hidropónico de maíz.
2. Evaluar la fertilización orgánica en el rendimiento, calidad bromatológica, contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del forraje verde hidropónico de maíz.

## **HIPÓTESIS**

1. El tipo de fertilización, genotipo y día de cosecha no afecta el rendimiento y calidad bromatológica del forraje verde hidropónico de maíz.
2. La fertilización orgánica no afecta el rendimiento, calidad bromatológica, contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del forraje verde hidropónico de maíz.

## **CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **1.1. Generalidades**

La Comarca Lagunera se localiza entre los meridianos 101° y 104° al oeste de Greenwich y los paralelos 24° 59' y los 26° 53' latitud norte. Abarca cinco municipios en el estado de Coahuila y diez en el estado de Durango. Ambos en la parte norte del país. Su extensión territorial es de 4,637 Km<sup>2</sup>. El clima, según la clasificación de Köppen, es caliente desértico o árido muy seco. Cálido en primavera y verano y en invierno es seco. La precipitación anual en los últimos 40 años es de 241.4 mm. La temperatura media anual es de 21°C, el promedio de temperatura máxima es de 29.1°C y la mínima media anual es de 12.1°C. Se presentan granizadas en los meses de abril a junio, con mayor incidencia en el mes de mayo. En cuanto a heladas, se presentan a partir de noviembre a marzo (SAGARPA, 2010).

La Comarca Lagunera es considerada una importante región ganadera en el país, no solo por ser la primera cuenca lechera al tener el primer y segundo lugar nacional en producción de leche de vaca y leche de cabra respectivamente, sino también por su participación en la producción de carne. Así mismo, tienen una importante producción de carne de ave y huevo.

La población caprina en la Comarca Lagunera es de aproximadamente 530 mil cabezas, de las cuales el 70% se encuentra en áreas marginadas de temporal. Específicamente, cinco municipios correspondientes al estado de Coahuila (Torreón, Matamoros, Viesca, San Pedro y Francisco I. Madero) concentran el 58% de la población caprina de la región.

El sistema de producción caprina predominante es el de pastoreo de esquilmos agrícolas, arbustos y maleza y en menor proporción esquilmos de cultivos de temporal. Lo anterior ha

impactado en la demanda de forraje, así como de otras fuentes alternativas de alimentos. Por otro lado, en muchas ocasiones se han tenido pérdidas de ganado o disminución de productividad como consecuencia de déficit alimentarios o falta de forraje, heno, ensilaje o granos para alimentación animal. Fenómenos climatológicos adversos, como sequías, inundaciones y granizo se han incrementado significativamente en estos últimos años, afectando negativamente la producción o limitando el acceso al forraje producido en forma convencional para alimentación de los animales. Ello conlleva a la necesidad de contar con alternativas de producción de forraje que permitan prevenir pérdidas especialmente a nivel de los pequeños y medianos productores ganaderos o de animales menores.

## **1.2. Producción de forraje**

En la Comarca Lagunera, cerca del 60 % de la superficie destinada a agricultura se dedica a la producción de forraje. La Figura 1 indica como ha sido el comportamiento de producción forrajera durante los años 2008, 2009 y 2010. Los cultivos forrajeros se catalogan como cultivos con alta demanda hídrica y a la vez como ineficientes en el uso del agua. El 61% de la superficie total de forraje se riega con agua subterránea con una eficiencia del 60%. Es decir, el 40% del agua aplicada no es utilizada por el cultivo y se escapa a la atmosfera en forma de vapor. Además, la mayoría del forraje producido va destinado a la alimentación de ganado bovino, producto del monopolio ya que se concentran las tierras y el uso del agua a los grandes productores.



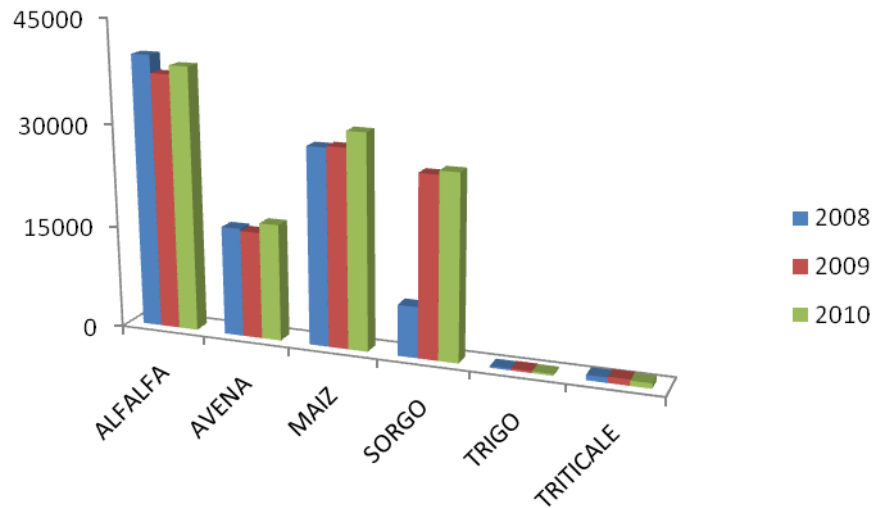


Figura 1. Comportamiento de la producción forrajera durante los años 2008, 2009 y 2010 en la Comarca Lagunera, México. (SIAP, 2011).

### 1.3. Hidroponía

El término hidroponía es una palabra compuesta que se origina de las palabras griegas *hydros* (agua) y *ponos* (labor o trabajo). El diccionario de la real academia de la lengua española lo define como: cultivo de plantas en soluciones acuosas (Resh, 2001). Los cultivos hidropónicos son considerados como un nuevo concepto de producción, permite producir plantas sin emplear el suelo solo a base de agua y solución nutritiva y no se requiere de grandes extensiones, ni periodos largos de producción.

En los últimos quince años, el área mundial destinada a la producción hidropónica se ha incrementado considerablemente. En Europa poseen niveles más sofisticados en producción, Holanda tiene diez mil hectáreas de cultivo hidropónico, seguido de España y Francia; que de sus 35 mil hectáreas de invernaderos, 40 por ciento son de cultivo hidropónico. En Latinoamérica se destacan en producción de hidropónicos Brasil, Argentina, Perú y México.

#### **1.4. Producción de forraje en sistemas controlados**

La tecnología para la producción de alimentos en invernadero ha avanzado considerablemente en los últimos 20 años. La producción en invernadero, frecuentemente denominada agricultura en ambiente controlado, usualmente se conduce con hidroponía. En combinación con los invernaderos, ésta es de alta tecnología y de capital intensivo. (Checa, 2001).

El diseño estructural de un invernadero debe brindar protección contra daño de viento, lluvia, calor y frío. Al mismo tiempo, los componentes estructurales de un invernadero deben ser de tamaño mínimo para permitir una transmisión máxima de luz al cultivo. En regiones áridas como templadas, las estructuras de invernaderos normalmente están cerradas para controlar la temperatura, y abiertas sólo para dar ventilación. En ambas regiones, durante el verano y aún durante el invierno en regiones áridas, comúnmente se usan sistemas de enfriamiento para disminuir la temperatura dentro del invernadero (Alpi y Tognoni, 1991).

En algunos países, como Costa Rica, Brasil, Venezuela, Perú, Argentina y Estados Unidos se lleva a cabo la producción de forraje hidropónico a escalas industriales encontrando buenos resultados en el rendimiento comparados con el forraje convencional (Gomes *et al.*, 2001; Müller, 2006; Herrera, 2007; Campêlo, 2007; Roversi, 2008; Rivera *et al.*, 2010).

En México la hidroponía es relativamente joven, por lo que la producción de forraje hidropónico está en proceso de gestación. Por lo tanto, el enfoque del estudio sería la determinación de la demanda en base a la utilización de un marco histórico de la producción ganadera en México, si el mercado es cubierto por el forraje tradicional y por las compras

foráneas para determinar la participación del forraje hidropónico en el mercado, así como de la importancia de los problemas que ha traído la producción de forraje convencional en el aspecto de sustentabilidad. Sin embargo, se conocen algunas unidades de producción ubicadas en el país en los estados de Guerrero, Durango, Chihuahua, Guanajuato y Estado de México que se dedican a la producción de forraje hidropónico con fines de autoconsumo y venta.

En el estado de Coahuila, existen módulos de producción en diferentes municipios como San Pedro, General Cepeda, Saltillo, Arteaga, Ramos Arizpe y Castaños pero por cuestiones de capacitación no se ha logrado mantener una producción estable (León, 2004; Espinosa, 2005; Nava et al., 2005; Romero *et al.*, 2009).

### **1.5. Forraje verde hidropónico**

El forraje verde hidropónico (FVH) es el resultado del proceso de germinación de grano de cereales o leguminosas en condiciones óptimas de temperatura, iluminación y riego durante un período de 9 a 16 días. El grano germinado alcanza una altura promedio de 25 cm (Rodríguez, 2003).

La producción del FVH es una de las derivaciones prácticas de la hidroponía y se remonta al siglo XVII cuando el científico Robert Boyle, realizó los primeros experimentos de cultivo en agua. Años después, sobre el final de dicha centuria, Woodward produjo germinaciones de grano utilizando agua de diferentes orígenes y comparó diferentes concentraciones de nutrientes para el riego de los granos así como la composición del forraje resultante (Abdullah, 2001).

### **1.5.1. Producción del forraje verde hidropónico. Ventajas y desventajas**

#### **Ahorro de agua**

El ahorro de agua se debe a que la evapotranspiración es mínima comparada con un cultivo forrajero en campo. Además el escurrimiento superficial producido no es significativo. La eficiencia en el uso de agua varía entre 270 a 635 litros de agua por kilo de materia seca, comparado con un consumo total de 15 a 20 litros por kilo de materia seca de FVH obtenida en 14 días (Meza, 2005).

#### **Eficiencia en el uso de espacio**

Es posible minimizar el espacio para la producción de FVH ya que puede ser instalado en forma modular en la dimensión vertical (Romero, 2009).

#### **Costos de producción**

La rentabilidad de producción del FVH, considerando los riesgos de sequías, otros fenómenos climáticos adversos, las pérdidas de animales y los costos unitarios del insumo básico (semilla), el FVH es una alternativa económicamente viable que merece ser considerada por los pequeños y medianos productores (García, 2005).

#### **Valoración de la tecnología**

Una de las desventajas de la producción de forraje verde hidropónico es el desconocimiento de las exigencias del sistema, la especie forrajera, su comportamiento productivo, plagas, enfermedades, requerimientos de nutrientes y de agua, óptimas condiciones de luz, temperatura y humedad (FAO, 2001).

### **1.5.2. Semilla requerida para la producción de forraje verde hidropónico**

La semilla a utilizar es el punto primordial para obtener buenos resultados. No sólo es importante como elemento productivo sino también, por su costo ya que determina el costo final del producto. Esencialmente la semilla que se usa para producir forraje hidropónico es: trigo, avena, cebada, centeno, maíz y sorgo. El tipo de semilla seleccionada, debe ser de buena calidad, entendiéndose así aquella semilla que tenga principalmente las siguientes características: 1) La semilla a utilizar sea de recién cosecha, fresca y sana con un poder germinativo no menor al 90 % y posea únicamente granos enteros; 2) No esté dañada en su manipuleo, ya que las rupturas provocan la propagación de enfermedades y se encuentre limpia de polvos, que son portadores de bacterias, hongos y otros microorganismos; 3) No esté tratada con algún compuesto químico contra plagas (plaguicidas o fungicidas), ya que puede ser tóxico para el ganado (Romero, 2009)

### **1.5.3. Proceso de germinación y desarrollo del forraje verde hidropónico**

El proceso de germinación es la reiniciación del crecimiento del embrión una vez que se supera el periodo de latencia, cuando existen condiciones favorables de temperatura, luz, disponibilidad de oxígeno y agua (Azcon-Bieto y Talon, 1993). La germinación se caracteriza por tres fases: imbibición, activación metabólica, y crecimiento o germinación. El proceso de imbibición es un proceso físico cuya fuerza directriz está determinada por la diferencia de agua entre la semilla y el sustrato que la rodea. Una vez incorporada una cierta cantidad de agua (que varía según la semilla), empieza la fase de activación metabólica, es decir, se activan las enzimas para el desdoblamiento y movilización de reservas almacenadas ya sea en el embrión, endosperma o perisperma, hacia el eje embrionario donde el tejido quiescente se vuelve

metabólicamente activo. La fase de crecimiento o germinación se inicia al producirse la elongación celular y división celular (Rotar, 2006) (Figura 2).

La semilla de maíz está contenida dentro de un fruto denominado cariósido; la capa externa que rodea este fruto corresponde al pericarpio, estructura que se sitúa por sobre la testa de la semilla. Esta última está conformada internamente por el endosperma y embrión, el cual a su vez está constituido por la coleoriza, radícula, plúmula u hojas embrionarias, coleóptilo y escutelo o cotiledón. Las hojas embrionarias, cuyo conjunto recibe el nombre de plúmula, están cubiertas por el coleóptilo. La radícula, por su parte, está envuelta por otra estructura llamada coleoriza. El escutelo, que constituye una parte relativamente grande del embrión, se encuentra en estrecho contacto con el endosperma amiláceo (Bidwell, 1993) (Figura 3). El embrión de la futura planta, a partir de un almacén de energía en forma de hidratos de carbono o lípidos, es capaz de transformarse en pocos días en una plántula con capacidad para captar energía lumínica y absorber elementos minerales de la solución nutritiva. En este estado, la plántula se encuentra en crecimiento acelerado, con muy poca fibra y alto contenido de proteína en su composición (Valdivia, 1997).

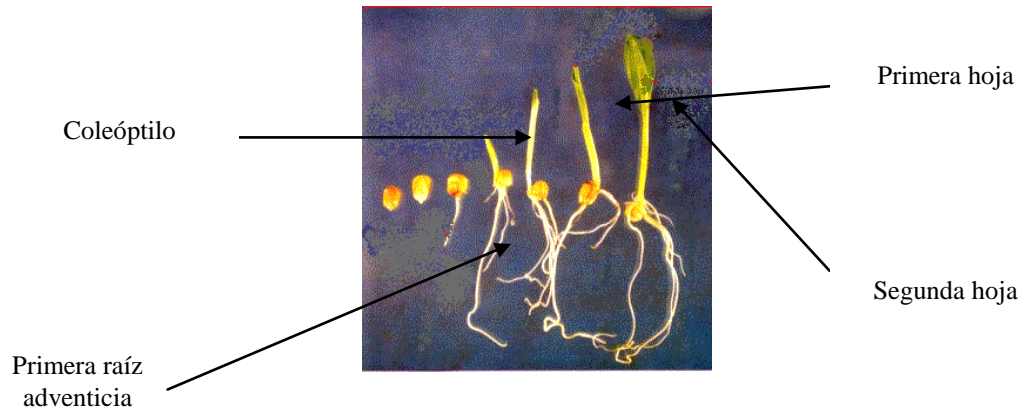


Figura 2. Proceso de germinación del grano de maíz (Fuente: Azcon-Bieto y Talon, 1993).

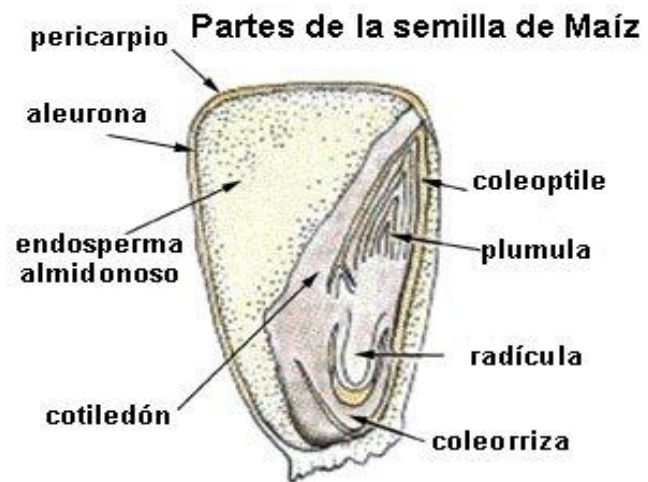


Figura 3. Partes de la semilla de maíz (Fuente: Bidwell, 1993)

#### 1.5.4. Metodología de Producción de forraje verde hidropónico

##### Lavado y desinfección de la semilla

La semilla debe lavarse y desinfectarse con una solución de hipoclorito de sodio al 1% (10 mL·L<sup>-1</sup> de agua). El lavado tiene por objeto eliminar hongos y bacterias contaminantes y liberarlas de residuos. El tiempo que se deja la semilla en la solución desinfectante no debe ser menor a 30 segundos y mayor de 3 minutos. Finalizado el lavado se procede a un enjuague riguroso de la semilla con agua limpia (Rodríguez, 2007) (Figura 4).



Figura 4. Lavado y desinfección de la semilla

##### Remojo o imbibición de la semilla

Antes de dejar la semilla en remojo, se aplica 1.5 gr de hidróxido de calcio  $\text{Ca(OH)}_2$  por litro de agua con el fin de estimular el ablandamiento de la testa y la activación enzimática de la semilla. Se realiza nuevamente un enjuague para eliminar restos de  $\text{Ca(OH)}_2$ . La semilla se deja en recipientes de plástico sumergida completamente en agua limpia por un período de 24 horas para lograr una completa imbibición (Rodríguez, 2003) (Figura 5).





Figura 5. Remojo o imbibición de la semilla

### Germinación de la semilla

Una vez transcurridas las 24 horas de remojo se escurre el agua de los recipientes y se tienen dos opciones: colocar la semilla directamente en las charolas de siembra tapadas con plástico negro o mantener la semilla en botes de plástico cerrados y perforados con el fin de mantener aireación y la temperatura adecuada para la germinación (Herrera, 2007; Herrera, 2009) (Figura 6).



Figura 6. Germinación

### Dosis de siembra

La dosis óptima de semilla a sembrar por metro cuadrado oscila entre 2.2 kilos a 3.5 kg considerando que la disposición de la semilla no debe superar los 1.5 cm de altura en la bandeja (FAO, 2001).

### **Siembra en bandeja**

Se distribuye una capa delgada de semilla pre-germinada, la cual no debe exceder de 1.5 cm de espesor. Posteriormente se cubre con un plástico negro recordando que la semilla debe estar en semi-oscuridad en el lapso de tiempo que transcurre desde la siembra hasta su germinación o brotación. Una vez detectada la brotación completa de la semilla retiramos el plástico negro (López *et al.*, 2009) (Figura 7).



Figura 7. Siembra de la semilla germinada

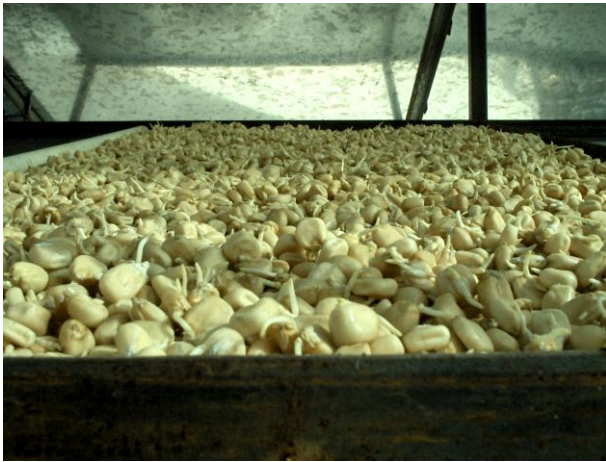
### **Riego de bandeja**

El volumen del agua de riego es de acuerdo a los requerimientos del cultivo y condiciones ambientales internas del recinto de producción. Un indicador práctico que se debe tener en cuenta es, no aplicar riego cuando las hojas se encuentran levemente húmedas al igual que su masa radical. Recomendar una dosis exacta de agua de riego para cada especie resulta muy difícil, dado que dependerá del tipo de infraestructura disponible.

## Fertilización

La fertilización en el FVH se inicia a los 4 o 5 días después de la siembra, ya que es cuando el proceso fotosintético es más marcado, asegurando un aumento en rendimiento y valor nutritivo (Vargas 2008; Romero *et al.*, 2009).

### 1.5.5. Desarrollo del forraje verde hidropónico



RECIEN SEMBRADO



A LAS 24 HORAS





A LAS 48 HORAS



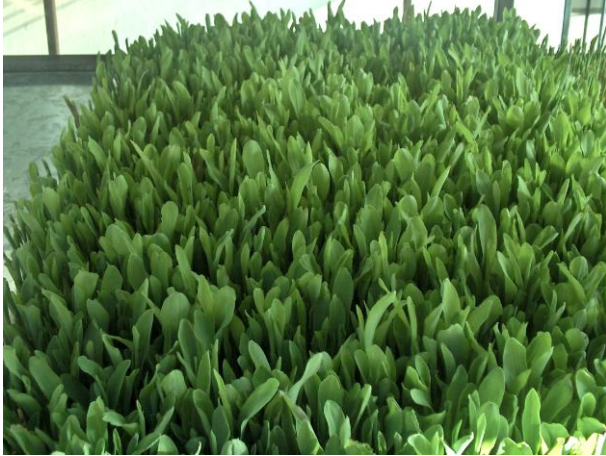
A LAS 54 HORAS



A LAS 72 HORAS



TAPETE RADICAL A LAS 72 HORAS



A LAS 96 HORAS



A LOS 16 DIAS



ALTURA A LOS 16 DIAS

TAPETE RADICAL A LOS 16 DIAS

Figura 8. Desarrollo del forraje verde hidropónico

### 1.6. Fertilización orgánica

Una alternativa para satisfacer la demanda nutricional de los cultivos además de disminuir los costos y la dependencia de los fertilizantes sintéticos, es la utilización de algunos materiales orgánicos líquidos como extracto líquido de estiércol (Capulín *et al.*, 2007), lixiviado de composta o vermicomposta (García *et al.*, 2008); té de composta y té de vermicomposta (Hargreaves *et al.*, 2008; Pant *et al.*, 2009). Estas soluciones pueden ser aplicadas en sistemas de riego presurizado, lo cual las hace utilizables en sistemas de producción a gran escala, además de que se promueve el reciclaje de los residuos orgánicos (Rippy *et al.*, 2004; Preciado *et al.*, 2011).

### **1.6.1. Té de composta y de vermicomposta**

El té de composta y/o de vermicomposta en el termino más simple es un extracto acuoso de composta y/o de vermicomposta en donde la composta es el principal ingrediente para esta solución, sin embargo algunos té s son simples extractos de plantas, generalmente se añaden polvos de rocas y melaza como alimento para los microorganismos y proporcionar nutrimentos adicionales para el cultivo (Ingham, 2005).

El té de composta y té de vermicomposta es la solución resultante de la fermentación aeróbica de composta o de vermicomposta en agua, puede utilizarse como fertilizante, debido a que contiene nutrientes solubles y microorganismos benéficos (Ingham, 2005). El té de composta aportó los nutrimentos requeridos para el cultivo de tomate en invernadero, aunque el rendimiento y el tamaño de fruto se vieron limitados (Ochoa *et al.*, 2009). En cultivos aromáticos empleando té s de composta y vermicomposta se obtuvieron mayores contenidos de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante (Pant *et al.*, 2009). Soluciones nutritivas a base de vermicomposta aplicadas en forraje hidropónico de trigo obtuvieron ligeramente mayores contenidos de materia seca, comparada con la solución nutritiva (Müller *et al.*, 2006).

### **1.7. Compuestos fenólicos**

Los compuestos fenolicos (CF), son sustancias que poseen un anillo benceno, con uno o más grupos hidróxidos incluyendo derivados funcionales como ésteres, metil ésteres y glicósidos. Constituyen una de las principales clases de metabolitos secundarios de las plantas, donde desempeñan diversas funciones (Antolovich *et al.*, 2000).



Las plantas sintetizan gran variedad de productos secundarios que contienen un grupo fenol. Estas sustancias reciben el nombre de compuestos fenólicos, polifenoles o fenilpropanoides y derivan todas ellas del fenol, un anillo aromático con un grupo hidroxilo (Chandran *et al.*, 2003) (Figura 9).

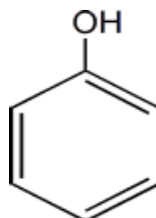


Figura 9. Estructura química del fenol. (Tomado de Azcon-Bieto y Talón, 1993)

Desde el punto de vista de la estructura química, son un grupo muy diverso que comprende desde moléculas sencillas como los ácidos fenólicos hasta polímeros complejos como los taninos y la lignina. En el grupo también se encuentran pigmentos flavonoides (Antolovich *et al.*, 2000).

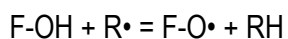
### 1.7.1. Función de los compuestos fenólicos

La función de los CF *in vivo*, está determinada por su estructura química, por lo que existen diferencias en la efectividad como antioxidantes entre los distintos grupos de compuestos. El comportamiento antioxidante de los compuestos fenólicos está relacionado con su capacidad para quelar metales, inhibir la lipoxigenasa y captar radicales libres. Para que un compuesto fenólico sea clasificado como antioxidante debe cumplir dos condiciones básicas. La primera es que cuando se encuentre en una concentración baja con relación al sustrato que va a ser oxidado pueda retrasar, enlentecer o prevenir la oxidación mediada por un radical libre. La segunda es que el radical formado tras el secuestro sea estable y no pueda actuar en oxidaciones posteriores. Entre los compuestos fenólicos con una reconocida actividad antioxidante destacan los flavonoides, los ácidos fenólicos (principalmente hidroxicinámico, hidroxibenzóico, caféico,



clorogénico), taninos (elligataninos), calconas y cumarinas, los cuales constituyen la fracción polifenólica de una gran diversidad de alimentos (Shahidi y Wanasundara, 1992).

El mecanismo de protección de lípidos por los polifenoles ocurre en el estado inicial y, más efectivamente, durante el estado de propagación de la oxidación lipídica por captura de los radicales libres (RL), inhibiendo de esta manera la reacción en cadena. La transferencia de electrones desde el RL determina que el antioxidante se transforme en una molécula radical activa y este radical así formado debe ser lo suficientemente estable para que la función antioxidante sea efectiva. A su vez, el radical formado puede ser recuperado por otras sustancias antioxidantes, como el ascorbato. En este sentido, se ha sugerido que los compuestos fenólicos podrían participar, en conjunción con el ácido ascórbico y, posiblemente otros reductores, y junto con la enzima peroxidasa, en un sistema encargado de regular el estado redox de la célula (Benavidez, 2002). La capacidad antioxidante de los compuestos fenólicos se debe a su bajo potencial redox. Por ello, son termodinámicamente capaces de inactivar de forma efectiva las especies activas de oxígeno (EAO), como el anión superóxido y los radicales peroxilo, alcoxilo e hidroxilo, mediante la donación de un protón:



donde  $R\bullet$  representa al anión superóxido y los radicales peroxilo, alcoxilo e hidroxilo.

El radical aroxilo ( $F-O\bullet$ ) puede reaccionar con un segundo radical, adquiriendo una estructura quinona estable. Los radicales aroxilo pueden reaccionar con el oxígeno, generando quinonas y anión superóxido. Esta última reacción puede tener lugar en presencia de elevados

niveles de metales de transición y éstos son los responsables de los efectos pro-oxidantes de los flavonoides. Por tanto, la capacidad antioxidantes de los flavonoides, o fenoles en general, depende no sólo del potencial redox del par F-O•/F-OH, sino también de las posibles reacciones posteriores de los radicales aroxilo (Larson, 1988).

### **1.7.2. Mecanismo de biosíntesis de los compuestos fenolicos**

Los compuestos fenólicos se originan a partir del metabolismo secundario de las plantas y pueden seguir dos vías principalmente, la vía del ácido shikimico y la vía del ácido malónico (Taiz y Zeiger, 2006). La ruta del ácido shikimico, la principal en plantas superiores, depende de la luz y se inicia en los plastos por condensación de dos productos: la eritrosa 4-fosfato (que procede de la ruta de las pentosas fosfato) con el fosfoenolpiruvato (PEP) (intermediario de la glucolisis), y por diversas modificaciones se obtiene el ácido shikimico, del cual deriva el ácido corismico o corismato, que es un intermediario clave en la síntesis de la fenilalanina, un aminoácido aromático que da origen a los compuestos fenólicos (Figura 10). Los primeros cuatro pasos conducen al shiquimato, cuyos siete carbonos proceden de la eritrosa 4-fosfato y del fosfoenolpiruvato (Figura 11). El shiquimato se convierte en corismato en tres pasos, en los cuales se incorporan otros tres átomos de carbono procedentes de otra molécula de fosfoenolpiruvato. El corismato es el primer punto de ramificación de la vía, con una rama que conduce al triptófano y otra a la fenilalanina y la tirosina (Lehninger, 2007). La fenilalanina se sintetiza a partir del corismato. El intermediario común es el prefenato. El último paso es la transaminación del glutamato (Figura 12). La fenilalanina, aminoácido esencial y parte del metabolismo primario de las plantas, entra al metabolismo secundario cuando la enzima fenilalanina amonio liasa (PAL) cataliza la eliminación de un amonio convirtiendo a la fenilalanina

en ácido cinámico, sustrato común de la biosíntesis de distintos fenilpropanoides (Hermann, 1995 a y b).

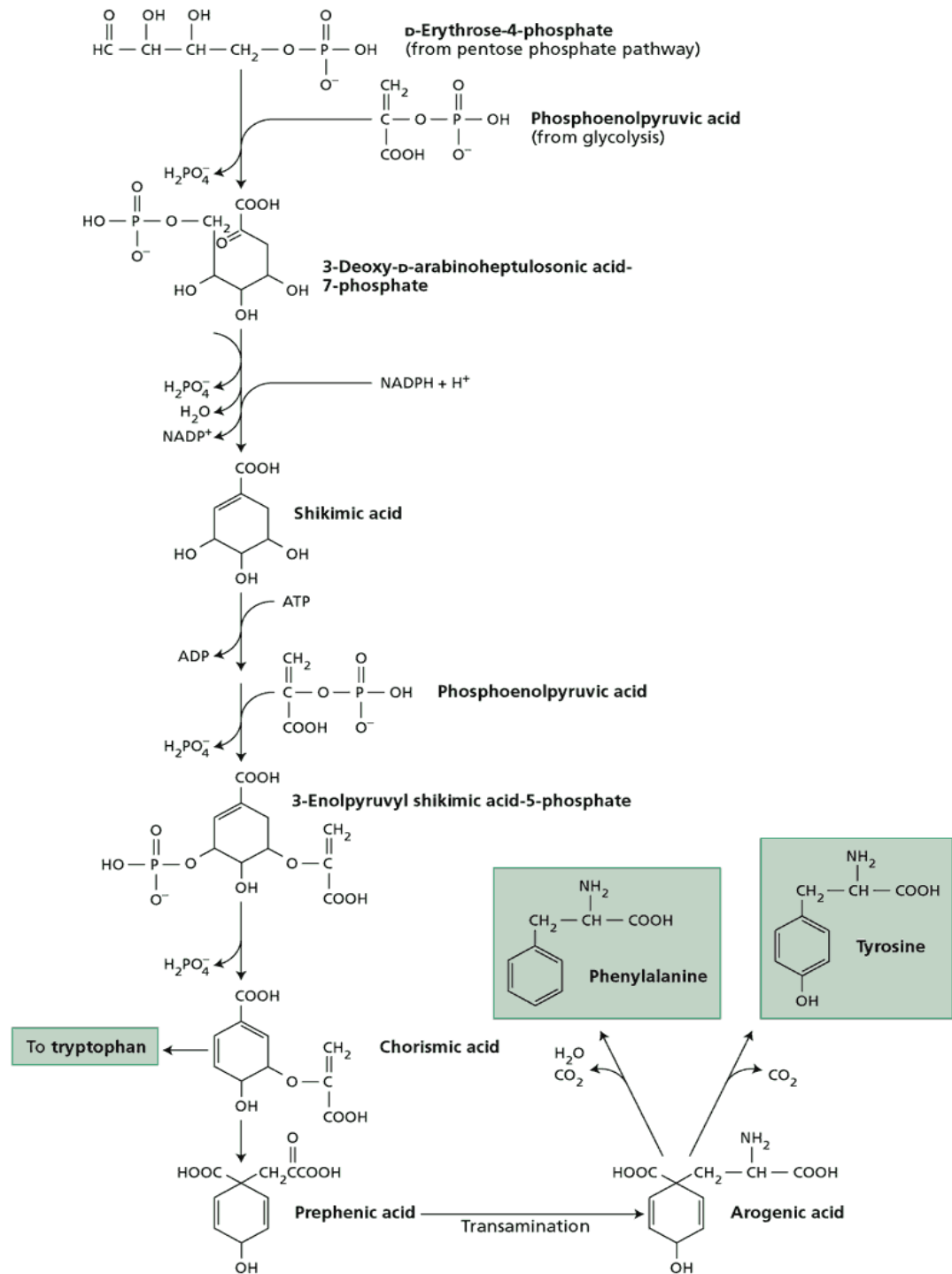


Figura 10. Ruta del ácido shikímico, en donde los compuestos fenólicos son sintetizados por precursores de carbono derivados de la vía de las pentosas fosfato y la glicólisis. obtenido de Taiz y Zeiger, 2006.

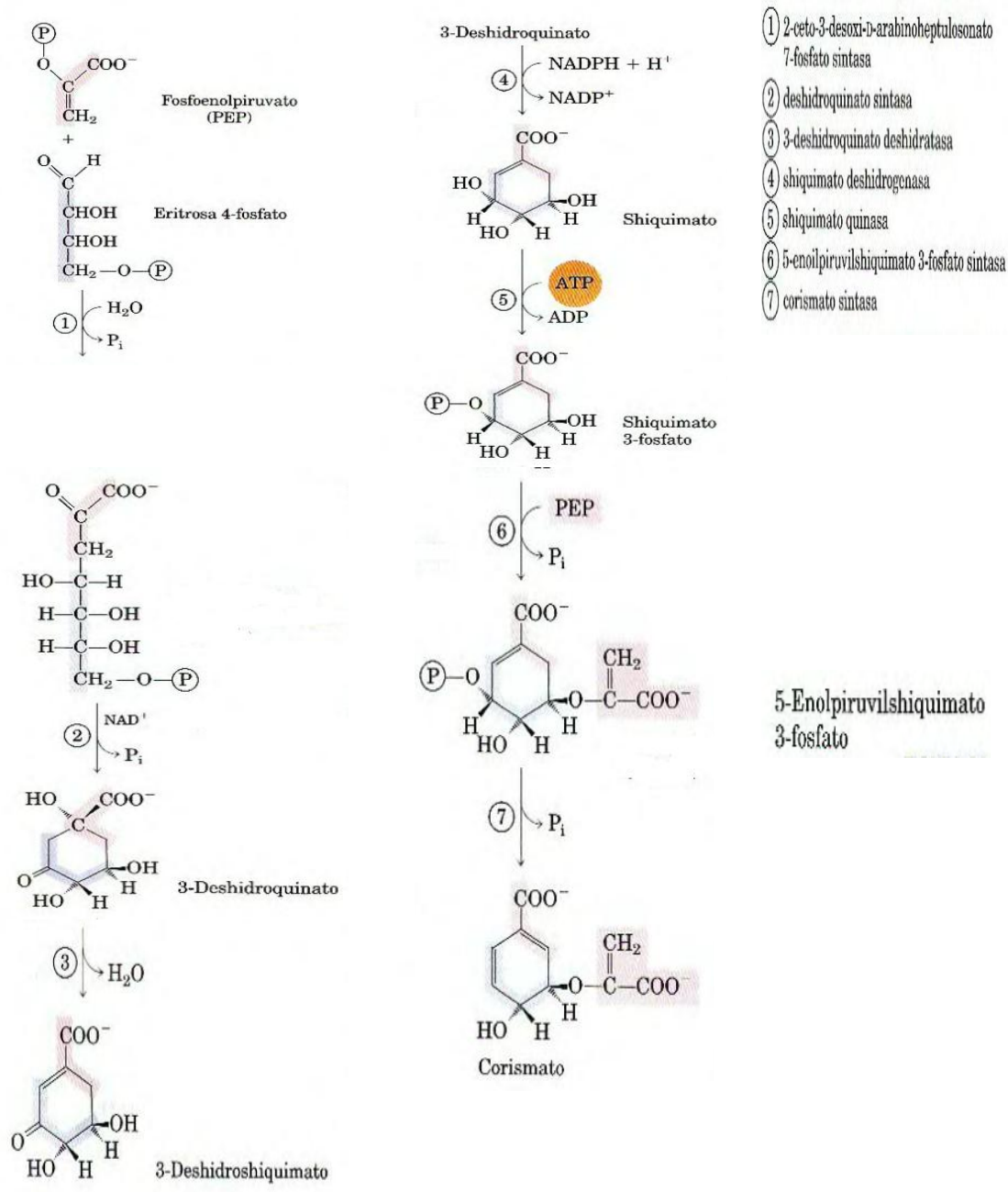


Figura 11. Biosíntesis del corismato. Obtenido de Lehninger, (2007).

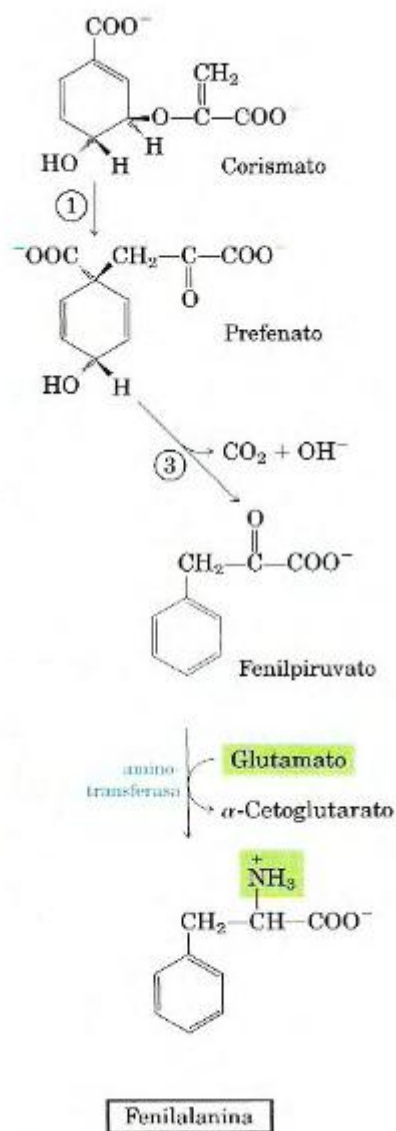


Figura 12. Biosíntesis de la fenilalanina. Obtenido de Lehninger, (2007).

### 1.8. Regulación de los compuestos fenólicos

La actividad enzimática en el metabolismo secundario no solo es influenciada por la accesibilidad de los precursores sino también por la acumulación de los productos. La actividad enzimática tiende a disminuir cuando la concentración de producto intracelular es máxima. Esta oscilación puede explicarse por la acumulación de productos en periodos de alta actividad

enzimática y donde la difusión al medio está limitada, la inhibición reversible de la enzima por acumulación de productos y la disminución de la cantidad acumulada por liberación al medio y nuevamente incremento de la actividad enzimática y biosíntesis de productos secundarios (Strack, 1997).

Si un elemento es limitante para la nutrición de la planta, la deficiencia se refleja en el cambio de actividad de las enzimas que requieren dicho elemento para su función, debido a que el elemento es parte de la estructura de la enzima o porque puede ejercer una influencia como activador del sistema de la misma (Paganga *et al.*, 1999; Liakopoulos y Karabourniotis, 2005). Un déficit de nutrientes causa variaciones en la producción de CF, en otras palabras, los CF muestran sensibilidad a la deficiencia de nutrientes. Un cambio en el contenido de CF puede resultar de un cambio en la actividad de enzimas clave en la biosíntesis de fenoles, tales como la fenilalanina amonio liasa (PAL) o de un cambio en el suministro del sustrato. Deficiencias de N, P y K causa una gran concentración de CF. La disminución en el aporte de N incrementa significativamente la concentración de CF, esto de acuerdo con Dixon y Paiva (1995) quienes afirmaron que el metabolismo fenilpropanoide es modificado por el N y que el estado nutricional de la planta afecta el metabolismo. La deficiencia de nitrógeno incrementa significativamente la producción de ácido clorogénico y ácido isoclorogénico en girasol; similares resultados aparecen con la supresión de fósforo. El incremento en el suministro de N generalmente inhibe la acumulación de fenoles como catequinas, procianidinas y flavonoles en las hojas (Rühmann *et al.*, 2002). Aun cuando la aplicación de P puede ser responsable de mejorar la fotosíntesis, esto promueve una disminución en el contenido de antocianinas (Juszczuk *et al.*, 2004). Algunos síntomas visibles de deficiencia de P como el color rojo púrpura en las hojas se debe a una acumulación de antocianinas existiendo una relación entre la deficiencia de nutrientes y el

metabolismo secundario y algunos síntomas causados por deficiencia de nutrientes son debidos a desordenes del metabolismo fenólico (Chishaki y Horiguchi, 1997). El exceso de K incrementa la actividad osmótica causando una reducción en el potencial hídrico y un influjo del agua hacia las células vecinas creándose un mecanismo de adaptación celular para eliminar radicales libres formados durante el estrés. El estatus carbono-nitrógeno afecta al contenido de fenilpropanoides en plantas de tabaco (Fritz *et al.*, 2006). Cerca del 2% del carbono fotosintético es desviado a la biosíntesis de varios flavonoides y derivados fenólicos (Reigosa *et al.*, 2004).

### **1.9. Antioxidantes**

Los antioxidantes son un conjunto heterogéneo de sustancias formado por vitaminas, minerales, compuestos fenólicos, enzimas y otros compuestos vegetales, que bloquean el efecto dañino de los radicales libres (Ferreira, 1995). El término antioxidante significa que impide la oxidación perjudicial de otras sustancias químicas, ocasionada por reacciones metabólicas. Se puede definir como antioxidante a toda sustancia que hallándose presente a baja concentración respecto a las de una molécula oxidable (biomolécula) retarda o previene la oxidación de ese sustrato (Balch, 2006). Las principales características de un compuesto o sistema antioxidante son, la prevención o detección de una cadena de propagación oxidativa, mediante la estabilización del radical generado y regeneración del antioxidante radicalario ayudando así a reducir el daño oxidativo en la célula (Antolovich *et al.*, 2000).

Los sistemas biológicos en ambientes oxigenados han desarrollado mecanismos de defensa, tanto a nivel fisiológico como bioquímico. Entre ellos destacan, a nivel fisiológico, el sistema microvascular, cuya función es mantener los niveles de O<sub>2</sub> en los tejidos y a nivel bioquímico, la defensa antioxidante puede ser enzimática o no enzimática, así como ser un

sistema reparador de moléculas. Los diferentes compuestos con propiedades antioxidantes se encuentran distribuidos por los diversos compartimentos celulares. Su principal función es controlar el daño oxidativo provocado por diferentes compuestos. Estos sistemas antioxidantes tienden a impedir la formación de especies activas del oxígeno (EAO) y especies activas del nitrógeno (EAN), sobre todo de los radicales hidroxilo ( $\cdot\text{OH}$ ) mediante la eliminación de sus precursores: los radicales superóxido y el peróxido de hidrógeno (Hansberg, 2002).

Las especies activas del oxígeno son derivados del oxígeno ( $\text{O}_2$ ) que son más reactivos que éste en su estado basal de triplete. Son moléculas señaladoras activas a bajas concentraciones. Las EAO son moléculas que contienen uno o más electrones desapareados. Son extremadamente reactivas y pueden provocar daño y muerte celular (Mittler, 2002).

### **1.9.1. Tipos de antioxidantes presentes en plantas**

#### **Sistemas antioxidantes enzimáticos**

Los organismos aerobios han desarrollado enzimas antioxidantes como superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT) y glutatión peroxidasa (GPX). La SOD es la responsable de la reacción de dismutación del  $\text{O}_2^{\cdot-}$  a  $\text{H}_2\text{O}_2$ , que en reacciones posteriores, catalizadas por la catalasa o por GPX, se convierte en  $\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{O}_2$ . La catalasa se encuentra principalmente en los peroxisomas, y su función principal consiste en eliminar el  $\text{H}_2\text{O}_2$  generado de la  $\beta$ -oxidación de los ácidos grasos, mientras que la GPX degrada el  $\text{H}_2\text{O}_2$  citoplasmático (Arora *et al.*, 2002).

#### **Sistemas antioxidantes no enzimáticos**

Un antioxidante biológico eficaz debe hacer algo más que reaccionar con los radicales libres, debe: a) estar presente y tener una concentración adecuada en la célula, b) reaccionar con



una gran variedad de radicales libres y, c) ser capaz de regenerarse. En las células vegetales existen varios compuestos tanto de naturaleza hidrosoluble como liposoluble que cumplen estas propiedades. Los principales antioxidantes de naturaleza hidrosoluble que controlan la homeostasis redox son el ácido ascórbico, el glutatión y diversos compuestos fenólicos y, los liposolubles son los tocoferoles y los carotenoides. Las EAO, en determinadas circunstancias, juegan un papel esencial en la ruta de transducción de señales y en los mecanismos de activación enzimática. Esto indica que la función de los antioxidantes no es la de eliminar por completo las especies activas de oxígeno sino la de regular de forma muy precisa los niveles de estas especies (Singh *et al.*, 2003).

#### **1.10. Cuantificación de capacidad antioxidante y compuestos fenólicos**

En la evaluación de los componentes nutricionales de un producto vegetal es necesario considerar una serie de microcomponentes conocidos como componentes no-nutricionales o secundarios, los cuales incluyen los compuestos antioxidantes y fenólicos (Beltrán *et al.*, 2009). Los antioxidantes de los alimentos de origen vegetal funcionan como supresores del oxígeno singlete, son depuradores de radicales libres y descomponedores de peróxido, inhibidor enzimático. Muchos de los efectos de los alimentos se derivan de sus funciones antioxidantes, por lo que existe un creciente interés por conocer la capacidad antioxidante de los alimentos de origen vegetal para consumo animal (Frei y Higdon, 2003).

## **CAPÍTULO 2. ARTÍCULOS**

## ARTÍCULO 1

### RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FORRAJE HIDROPÓNICO PRODUCIDO BAJO FERTILIZACIÓN ORGÁNICA

#### Yield and Quality of Hydroponic Forage Produced Under Organic Fertilization

Lilia Salas Pérez, Pablo Preciado Rangel, Juan Ramón Esparza Rivera, Vicente de Paul Álvarez Reyna, Arturo Palomo Gil, Norma Rodríguez Dimas, Cándido Márquez Hernández

*Terra Latinoamericana* 28: 355-360.

Recibido: abril 2010

Aceptado: noviembre 2010

# RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FORRAJE HIDROPÓNICO PRODUCIDO BAJO FERTILIZACIÓN ORGÁNICA

## Yield and Quality of Hydroponic Forage Produced Under Organic Fertilization

Lilia Salas-Pérez<sup>1</sup>, Pablo Preciado-Rangel<sup>2</sup>, Juan Ramón Esparza-Rivera<sup>3</sup>, Vicente de Paul Álvarez-Reyna<sup>1</sup>, Arturo Palomo-Gil<sup>1</sup>, Norma Rodríguez-Dimas<sup>1</sup> y Cándido Márquez-Hernández<sup>4</sup>

### RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto del tipo de fertilización (TF), genotipo (G) y días a la cosecha (DC) sobre el rendimiento y calidad nutricional de forraje verde hidropónico (FVH). Se evaluaron tres TF: orgánica (té de compost), química (solución nutritiva) y sin fertilizar (agua potable) sobre dos genotipos (híbrido y criollo) de maíz forrajero en tres fechas de cosecha (12, 14 y 16 días después de la siembra). Estos factores conformaron un arreglo factorial  $3 \times 2 \times 3$  en un diseño completamente al azar, con seis repeticiones. Las variables de respuesta fueron: peso fresco (PF), materia seca (MS), contenido de proteína (PC), fibra ácido (FAD) y neutro detergente (FND) y grasa. Los resultados obtenidos indicaron que la calidad del FVH se encuentra dentro de los valores recomendados para su uso en alimentación animal. Los factores evaluados tuvieron efecto significativo: TF y DC sobre todas las variables, G sobre PC y FAD. En rendimiento y calidad nutricional el FVH fertilizado con té de compost fue similar comparado con la fertilización química, excepto para FAD. A los 16 DC el FVH manifestó efectos positivos sobre rendimiento, MS, FAD y FND. El maíz híbrido superó al criollo en todas las variables evaluadas.

**Palabras clave:** hidroponía, forraje, té de compost.

### SUMMARY

The objective of this study was to determine the effect of fertilization type (FT), genotype (G), and harvest day (HD) on yield and nutritional quality of hydroponic green forage (HGF). Three FT were evaluated: organic (compost tea), chemical (nutrient solution), and unfertilized (tap water), in two corn genotypes (hybrid and native) and harvest on three different dates (12, 14 and 16 days after sowing). These factors formed a  $3 \times 2 \times 3$  factorial arrangement in a completely randomized design with six replicates. The response variables were: fresh weight (FW), dry matter (DM) and protein content (PC), acid (ADF) and neutral detergent fiber (NDF) and fat. The results showed that the quality of HGF produced in the experiment is within the recommended values for use in animal feed. The factors evaluated had significant effect: FT and HD affected all variables, HD affected genotype. Also the HGF fertilized with compost tea was similar in yield and nutritional quality except for ADF compared to that fertilized with chemical fertilizers. On the day 16 sampling date, HGF showed positive effects on yield, dry matter, ADF and NDF. The hybrid maize surpassed the native variety in all variables.

**Index words:** hydroponic, forage, compost tea.

### INTRODUCCIÓN

La producción convencional de forrajes en regiones áridas y semiáridas tiene problemas como falta de agua, suelos pobres en materia orgánica, con problemas de salinidad y elevados costos de producción (Santamaría *et al.*, 2004). Además, la calidad del forraje no es uniforme durante todo el año por lo cual, los ganaderos realizan cambios en el suministro de la ración alimenticia, presentándose regularmente pérdida de peso y enfermedades en el ganado (SAGARPA-SENASICA, 2000). El forraje verde hidropónico (FVH) es una alternativa de producción sostenible que puede mantener

<sup>1</sup> Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, U. L. Periférico y carretera a Santa Fe s/n. 27052 Torreón, Coahuila, México.

<sup>2</sup> Instituto Tecnológico de Torreón. km 7.5 carretera Torreón-San Pedro. Apartado Postal 42. 27070 Torreón, Coahuila, México.

<sup>3</sup> Autor responsable (ppreciador@yahoo.com.mx)

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Químicas, Campus Gómez Palacio, UJED. Av. Artículos 123 Fracc. Filadelfia, Apartado Postal 51. 35010 Gómez Palacio, Durango, México.

<sup>4</sup> Escuela Superior de Biología, UJED. Av. Universidad s/n, Fracc. Filadelfia. 35070 Gómez Palacio, Durango, México.

Recibido: abril de 2010. Aceptado: noviembre de 2010.

Publicado como nota de investigación en

Terra Latinoamericana 28: 355-360.



y mejorar las condiciones de productividad y sanidad del ganado (Campêlo *et al.*, 2007), y su uso representa una opción viable, económica y segura que puede ser utilizada en la nutrición animal (Vargas, 2008). Una característica destacable acerca del FVH es la acelerada producción de biomasa en periodos de 9 a 16 días después de la siembra, (Müller *et al.*, 2006a).

Por otra parte, se ha reportado que el comportamiento productivo de este sistema depende de varios factores que incluyen las condiciones ambientales, ciclo de cultivo, variedad de la especie forrajera y tipo de fertilización, que puede ser tradicional (química) u orgánica (Müller *et al.*, 2006b). Así otra ventaja adicional de la producción de FVH es el aprovechamiento de desechos orgánicos tales como estiércol producidos en gran cantidad en los sistemas ganaderos, los cuales llegan a representar un problema ambiental. Éstos pueden ser procesados para obtener compost y posteriormente el té de compost. El té de compost es un extracto líquido obtenido a partir de la fermentación aeróbica de compost en agua, y ha sido usado en fertirriego debido a su contenido de microorganismos, nutrientes solubles y compuestos benéficos para las especies vegetales (Rippy *et al.*, 2004; Ochoa *et al.*, 2009).

Dentro de los factores importantes en la producción de FVH están el genotipo y el tiempo de cosecha, lo cual permite seleccionar el material con mayor potencial de rendimiento, además de determinar en qué estado de desarrollo del cultivo se obtiene mayor calidad del forraje (Müller *et al.*, 2006c). Bajo esta perspectiva, el objetivo del presente estudio fue evaluar el tipo de fertilización, genotipo y días a cosecha sobre el rendimiento y calidad nutrimental de forraje verde hidropónico.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó cabo en un invernadero ubicado en el Ejido San Lorenzo, municipio de San Pedro, Coahuila. Se utilizaron dos genotipos de maíz, el híbrido AN447 y el criollo San Lorenzo, con porcentajes de germinación del 95 y 90% respectivamente. La semilla fue sometida primeramente a una etapa de pre-germinación mediante inmersión en una solución de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  en agua potable ( $1 \text{ g L}^{-1}$ ) a  $25\text{-}28^\circ\text{C}$  durante 24 h para escarificar y eliminar patógenos en la semilla (López *et al.*, 2009). Posteriormente las semillas fueron enjuagadas con agua potable para eliminar el exceso de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y escurridas antes de la etapa de germinación, la cual consistió en la colocación de

las semillas pre-germinadas en botes de plástico de 20 L con perforaciones para permitir suficiente aireación. Los botes con semilla en germinación fueron cubiertos con plástico negro y colocados en un cuarto oscuro, al término de 24 h se realizó una selección de semillas germinadas que tenían radículas de 1-1.5 cm de longitud, las cuales fueron colocadas en bandejas de siembra de  $35 \times 53 \times 5 \text{ cm}$ , con una densidad de siembra de  $3.4 \text{ kg}$  de semilla por  $\text{m}^2$  (FAO, 2001).

El riego se realizó mediante aspersión, con una dosis de  $1050 \text{ mL d}^{-1}$  en cada bandeja durante el desarrollo del cultivo desde el día 0 hasta el día de cosecha. A los cinco días de crecimiento las bandejas fueron distribuidas aleatoriamente para la aplicación de los tratamientos asignándose seis bandejas por tratamiento. El té de compost se preparó conforme a la metodología de Ingham (2005), mientras que la solución nutritiva utilizada fue la indicada por Rodríguez (2003) (Cuadro 1). El contenido de nutrientes de la solución nutritiva y del té de compost no se igualó ya que el objetivo de la investigación fue determinar la factibilidad de reutilización de los subproductos generados por el ganado, como fuente alternativa de nutrientes.

Las soluciones nutritivas y el agua potable (SF) fueron aplicadas dos veces al día (8:00 y 18:00 h) sobre la parte aérea del forraje usando una regadera ( $500 \text{ mL bandeja}^{-1}$ ), suspendiendo la fertilización dos días antes de la cosecha. Se determinó peso fresco (PF) mediante pesado del forraje contenido en las bandejas, reportándose el promedio para cada tratamiento en  $\text{kg m}^{-2}$ , materia seca y calidad nutrimental. Los análisis químicos se realizaron siguiendo los métodos oficiales de la AOAC (1990) para materia seca (MS), proteína cruda (PC) y grasa (G). La materia seca (MS) se cuantificó colocando  $12 \text{ g}$  de muestra fresca en cajas de aluminio en estufa de aire forzado a  $70^\circ\text{C}$  hasta peso constante. La PC se cuantificó con el método Kjeldhal, el cual se utiliza para cuantificar N total, cuyo valor se multiplica por 6.25 para estimar proteína. El contenido de grasas se determinó en el aparato de extracción Goldfish marca Labconco por 4 h; después de evaporar el éter, el vaso se colocó en un desecador para obtener temperatura constante y se pesó nuevamente para calcular por diferencia el contenido de grasa. Las fibras se cuantificaron con el método de fraccionamiento con detergente y filtración subsecuente (Van Soest *et al.*, 1991). El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial  $3 \times 2 \times 3$ , y consistió en tres tipos de fertilización (TF): té de compost



**Cuadro 1. Composición química de los materiales utilizados como tratamientos aplicados para la producción de forraje hidropónico de maíz.**

Tratamiento	N	P	K	Na	Ca	Cl	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B	pH	CE
	----- mg L <sup>-1</sup> -----													dS m <sup>-1</sup>	
Solución nutritiva	202.7	48.5	32.4	18.2	81	33.8	60.6	9.4	23.8	1.8	0.04	0.07	0.02	6.5	2.5
Té de compost	238	39.7	53.2	33	80	12.7	91.2	2.6	10.4	3.7	0.01	nd	nd	7	3.5
Agua potable	nd	nd	14	36.3	47	23	8	13.6	nd <sup>†</sup>	nd	nd	nd	nd	8.5	1.05

<sup>†</sup> nd = no detectado.

(FO), solución nutritiva (FQ) y agua potable (SF); dos genotipos (G), el híbrido AN447 y el criollo San Lorenzo y tres fechas de cosecha (DC): 12, 14 y 16 días, con seis repeticiones de cada tratamiento. Para el análisis estadístico se usó el programa Statistica 7 (SPSS, 1996), mediante un análisis de varianza y prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) para la comparación de medias.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Rendimiento en Peso Fresco

El análisis de varianza mostró diferencias significativas debidas a TF y DC para PF (Cuadro 2); sin diferencias para G ó las interacciones. Estos resultados concuerdan con los reportados por Bayardo (2006), el cual señala que el rendimiento de forraje fresco depende, en mayor medida, del día de cosecha y la fertilización que del genotipo utilizado. La fertilización (inorgánica y orgánica) superó significativamente al testigo, lo anterior es debido al bajo aporte nutrimental del agua potable (Cuadro 1); ya que la producción de biomasa en FVH, se favorece cuando éste se fertiliza con al menos 200 mg L<sup>-1</sup> de N (FAO, 2001). En el presente estudio, ambos tratamientos de fertilización contenían la concentración suficiente de N para satisfacer los requerimientos del forraje (Cuadro 1). Para los días a cosecha, existió diferencia significativa a medida que avanza el tiempo de cosecha (Cuadro 2), el rendimiento de FVH y la producción de MS aumentaron significativamente al paso de los días.

### Porcentaje de Materia Seca

La MS y el contenido de PC del forraje son los mejores indicadores de la calidad de un forraje, ya que

regulan la digestibilidad y por lo tanto la producción de rumiantes (Mejía, 2002). En este estudio TF y DC afectaron significativamente la MS (Cuadro 2). Herrera *et al.* (2010) reportaron un incremento de la MS al aumentar los días a cosecha de FVH, aunque la MS también aumenta al incrementar la aplicación de N (Dumont *et al.*, 2005). En el presente estudio se obtuvieron resultados similares, ya que los DC tuvieron un efecto significativo sobre la MS, la cual aumentó conforme fue avanzando el desarrollo del FVH, obteniendo los mayores valores a los 16 días. Esto concuerda con Teixeira (2009), quien concluyó que con la edad, o el estado de madurez de la planta, se incrementan la MS. Se encontró un incremento significativo de MS al aumentar los días de cosecha en ambos genotipos.

### Calidad Nutrimental

Con respecto al porcentaje PC, todos los factores en estudio la afectaron significativamente (Cuadro 2) y la interacción G × TF también resultó significativa. El híbrido AN447 presentó mayor PC con respecto al criollo, no hubo efecto por tipo de fertilización pero en ambos casos PC resultó mayor a la obtenida al regar con agua de la llave. Gutiérrez *et al.*, (2006) mencionan una relación directamente proporcional entre la fertilización nitrogenada y el contenido de proteína en forraje. Por otra parte, se observó mayor contenido de PC en las etapas iniciales que a los 16 días. La disminución del PC en FVH, es debido a la maduración de la planta, ya que durante el desarrollo de 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 (Taiz y Zeiger, 2003; Müller *et al.*, 2006b; Herrera,



**Cuadro 2. Efecto del genotipo, tipo de fertilización y días a cosecha y de las interacciones, sobre el peso fresco (PF), materia seca (MS), proteína cruda (PC), fibra ácido detergente (FAD) fibra ácido detergente y fibra neutro detergente (FND) de forraje verde hidropónico de maíz.**

Factor	Nivel	PF	MS	PC	FAD	FND	Grasa
		kg m <sup>-2</sup>	----- % -----				
Genotipo (G)	Híbrido	25.17 a <sup>†</sup>	18.45 a	13.11 a	12.85 a	41.28 a	2.48 a
	Criollo	24.58 a	18.54 a	12.55 b	11.49 b	40.80 a	2.63 a
Tipo de fertilización (TF)	Té de compost	27.22 a	18.67 a	13.00 a	13.18 a	41.92 a	2.77 a
	Solución nutritiva	26.41 a	18.82 a	13.25 a	11.88 b	42.13 a	2.81 a
	Agua potable	21.02 b	17.98 b	12.23 b	11.45 b	39.07 b	2.09 b
Días a cosecha (DC)	12	16.49 c	15.79 c	15.04 a	10.08 c	38.26 c	3.36 a
	14	24.42 b	18.13 b	12.80 b	12.03 b	41.34 b	2.41 b
	16	33.74 a	21.55 a	10.63 c	14.40 a	43.52 a	1.90 c
G x TF		ns	ns	*	ns	**	ns
G x DC		ns	*	ns	*	ns	ns
TF x DC		ns	ns	ns	ns	*	ns

<sup>†</sup>Medias con diferente letra en la misma columna y factor indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). ns = no significativo; \* = significativo  $\alpha = 0.05$ ; \*\* = altamente significativo  $\alpha = 0.01$ .

2010). Existe evidencia de que el consumo de MS en bovinos disminuye cuando la proteína del forraje se encuentra por debajo del 8% (Aregheore *et al.*, 2006). En el presente estudio se obtuvieron valores superiores al 10% de PC en todos los tratamientos, por lo cual es recomendable el uso del FVH para alimentación de diferentes especies ganaderas. La interacción G x TF, indica que la fertilización presentó efecto diferencial (Figura 1) a los genotipos de maíz en el contenido de PC, presentando mayor contenido de PC en el híbrido AN447 combinada con fertilización orgánica, lo anterior debido al mayor contenido de N en el té de compostant.

Con respecto al contenido de FAD, todos los factores lo afectaron en forma significativa y la interacción G x DC también fue significativa (Cuadro 2), siendo los niveles híbrido AN447, FO y 16 DC, los que presentaron las mayores cantidades de FAD. Estos resultados son inferiores a los reportados por Aregheore *et al.* (2006), quienes indican que la FAD en forrajes debe ser  $\leq 30\%$  para favorecer el consumo de MS por el ganado. Herrera *et al.*, (2007) reportan que a mayor aplicación de N disminuye la FAD. A los 16 días se observó que la FAD es mayor que en los anteriores días de cosecha. Este comportamiento es similar a otras plantas forrajeras en las cuales se ha reportado que conforme la planta madura, el contenido de FDA aumenta, y la ingestión y digestibilidad disminuye (Van Soest *et al.*, 1991). De acuerdo con Herrera *et al.* (2010) en el FVH, existe un incremento en FND y FAD al avanzar el periodo de cosecha como efecto del proceso

de maduración, debido al engrosamiento de la pared celular que provoca disminución de la calidad nutricional, razón por la cual la fracción insoluble del forraje aumenta cuando se somete a una solución detergente neutro o una solución detergente acida, el cual estima el contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina; así como el contenido de fibra indigestible respectivamente. La interacción G x DC, sugiere que en ambos genotipos existió un aumento significativo en el contenido de fibra al incrementar el tiempo de cosecha, siendo mayor en el híbrido AN447 (Figura 2). Müller *et al.* (2006c) señalan una relación directa entre el contenido de FAD y edad, debido a que en la madurez de la planta este tipo de fibra está constituido principalmente por lignina y celulosa.

El TF, DC así como para las interacciones G x TF y TF x DC indujeron diferencias significativas en FND (Cuadro 2). Los valores de FND fluctuaron entre 38 a 43%. FND fue mayor en las plantas fertilizadas que en aquellas regadas con agua de la llave y existió un incremento de FND conforme aumentaron los DC. Herrera *et al.* (2007) indican que valores superiores al 55% de FND dificultan la digestibilidad del forraje, limitando el aprovechamiento eficaz del contenido calórico del producto, por lo que se puede indicar que a FVH se encuentra dentro de los límites aceptables de FND. Los menores contenidos de FND correspondieron al maíz criollo cuando no fue fertilizado (Figura 1).

La interacción TF x DC indica un aumento en FND en todos los TF conforme se incrementan los días a cosecha, siendo los mayores valores en los tratamientos

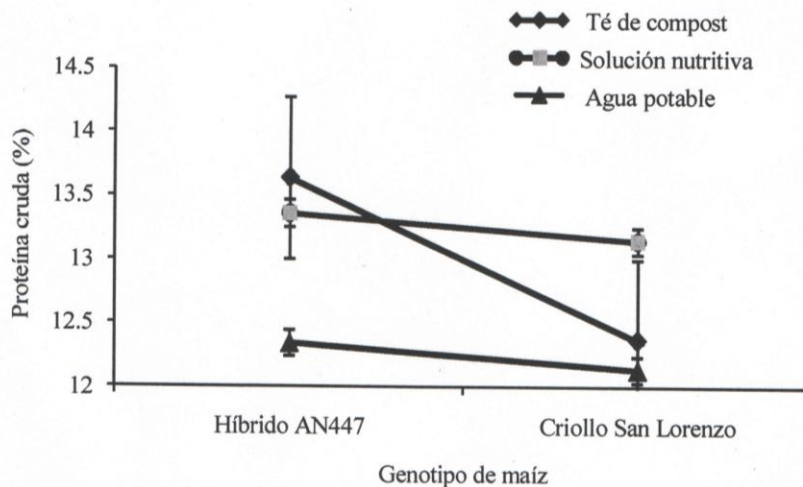


Figura 2. Interacción Genotipo - Tipo de fertilización para el porcentaje de proteína cruda en forraje hidropónico de maíz.

fertilizados. El mayor contenido en grasa correspondió a la FO y FQ. Zakaria *et al.* (2006) relacionan directamente el contenido de grasa 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 y en este estudio el contenido de fósforo fue similar en ambas soluciones de fertilización (Cuadro 1). Para los DC, el porcentaje de grasa disminuyó a medida que avanzó el desarrollo de las plantas, esto pudiera atribuirse a la actividad metabólica de la planta, ya que en esa etapa de crecimiento (12-16 días de crecimiento) se prioriza en la formación de compuestos ricos en energía (ATP), formación de paredes celulares y pigmentos, lo cual causa menor síntesis de grasas (Taiz y Zeiger, 2003). Por otra parte, se ha establecido que un

contenido de grasa mayor al 5% en forraje limita su uso para alimentación del ganado, ya que puede reducir considerablemente la digestión de la fibra y el consumo de MS (Morand-Fher y Tran, 2001).

## CONCLUSIONES

El tipo de fertilización y los días a cosecha afectaron el rendimiento y la calidad nutrimental del forraje hidropónico. El híbrido AN447 superó al criollo en el contenido de proteína cruda y fibra ácido detergente. El mayor rendimiento en peso fresco, contenido de materia seca, fibra detergente ácida y fibra detergente neutra, se obtuvo a los 16 días de cosecha. La producción de maíz hidropónico fertilizado con té de compost fue

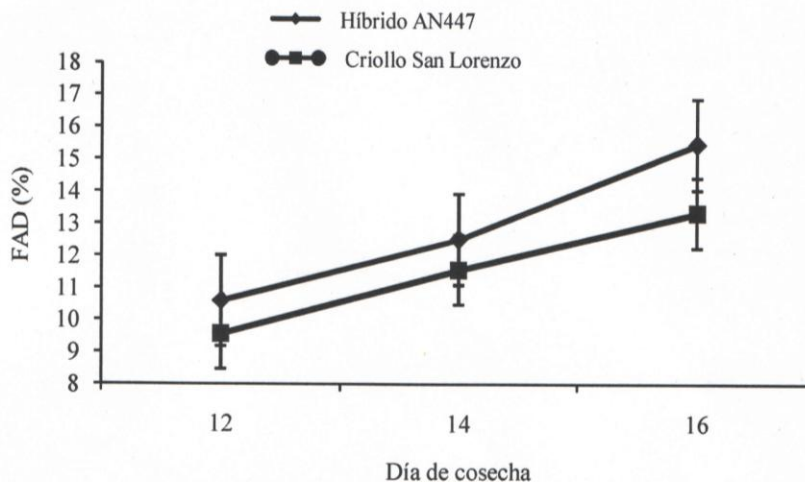


Figura 2. Interacción genotipo - día de cosecha para el contenido de fibra ácido detergente (FAD) en forraje hidropónico de maíz.



similar en el rendimiento y la calidad nutrimental al obtenido con la fertilización inorgánica, excepto en contenido de fibra ácido detergente. Se concluye que es factible la utilización del té de compost como sustituto de la fertilización química en la producción de forraje hidropónico.

### LITERATURA CITADA

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists. 1990. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th. edition. Washington, DC, U.S.A.
- Aregheore, E. M., I. Ali, K. Ofori, and T. Rere. 2006. Studies on grazing behavior of goats in the Cook Islands: The animal-plant complex in forage preference/palatability phenomena. *Int. J. Agric. Biol.* 8: 147-153.
- Bayardo-Parra R., M. R. Cigales-Rivero, J. G. Lorenzana-Salazar y S. Urquiaga. 2006. Caracterización de variedades de maíz mediante 15N como marcador en tres etapas fenológicas. *Rev. Fitotec. Mex.* 29: 13-17.
- Campêlo, J. E. G., J. C. Gomes de Oliveira, A. de S. Rocha, J. F. de Carvalho, G. C. Moura, M. E. Oliveira, J. A. Lopes da Silva, J. W. da Silva Moura, V. M. Costa, e L. M. Uchoa. 2007. Forragem de milho hidropônico produzida com diferentes substratos. *Rev. Brasileira Zoot.* 36: 276-281.
- Dumont, J. C., R. Anrique y D. Alomar. 2005. Efecto de dos sistemas de determinación de materia seca en la composición química y calidad del ensilaje directo de avena en diferentes estados fenológicos. *Agric. Téc. (Chile).* 65: 388-396.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2001. Manual técnico de forraje verde hidropónico. Vol. 1. Santiago, Chile.
- Gutiérrez-del Río, E., A. Espinoza-Banda, A. Palomo-Gil, J. J. Lozano-García y O. Antuna-Grijalva. 2006. Aptitud combinatoria de híbridos comerciales de maíz para La Comarca Lagunera. *Rev. Fitotec. Mex.* 27: 7-11.
- Herrera-Angulo, A. M., L. A. Depablos-Álvarez, R. López-Maduro, M. A. Benezra-Sucre y L. Ríos-de Álvarez. 2007. Degradabilidad y digestibilidad de la materia seca del forraje hidropónico de maíz (*Zea mays*). Respuesta animal en términos de consumo y ganancia de peso. *Rev. Cient. Univ. Zulia* 17: 372-379.
- Herrera-Torres, E., M. A. Cerrillo-Soto, A. S. Juárez-Reyes, M. Murillo-Ortiz, F. G. Ríos-Rincón, O. Reyes-Estrada y H. Bernal-Barragán. 2010. Efecto del tiempo de cosecha sobre el valor proteico y energético del forraje verde hidropónico de trigo. *Interciencia* 35: 284-289.
- Ingham, E. R. 2005. The compost tea brewing manual. Soil Foodweb. Corvallis, OR, USA.
- López-Aguilar, R., B. Murillo-Amador y G. Rodríguez-Quezada. 2009. El forraje verde hidropónico (FVH): una alternativa de producción de alimentos para el ganado en zonas áridas. *Interciencia* 34: 121-126.
- Mejía-Haro, J. 2002. Consumo voluntario de forraje por rumiantes en pastoreo. *Acta Universitaria* 12: 56-63.
- Morand-Fehr, P. y G. Tran. 2001. Le fraction lipidique des aliments et les corps gras utilisés en alimentation animale. *Prod. Anim.* 14: 285-302.
- Müller, L., P. A. Manfron, S. L. P. Medeiros, O. S. Santos, G. A. Morselli, D. Dourado N., E. B. Fagan, A. H. Bandeira e G. L. Luz. 2006a. Valor nutricional da forragem hidropónica de trigo com diferentes solucoes nutritivas e idades de colheitas. *Biosciencia* 22: 49-56.
- Müller, L., P. A. Manfron, O. S. Santos, S. L. Petter, D. Dourado, T. B. G. A. Morselli, G. Lopes da Luz e A. H. Bandeira. 2006b. Efeito de soluções nutritivas na produção e qualidade nutricional da forragem hidropónica de trigo (*Triticum aestivum* L.). *Zootecnia Trop.* 24: 137-152.
- Müller, L., O. S. Souza, P. A. Manfron, S. L. P. Medeiros, V. Haut, D. Dorado N., N. L. Menezes e D. C. García. 2006c. Forragem hidropónica de milho: produção e qualidade nutricional em diferentes densidades de sementeira e idades de colheita. *Ciência Rural* 36: 1094-1099.
- Ochoa-Martínez, E., U. Figueroa-Viramontes, P. Cano-Ríos, P. Preciado-Rangel, A. Moreno-Resendiz y N. Rodríguez-Dimas. 2009. Té de composta como fertilizante orgánico en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum mill.*) en invernadero. *Rev. Chapingo Serie Hort.* 15: 245-250.
- Ramírez, J. L., I. Leonard, C. Kljora y B. López. 2003. Efecto de la edad de rebrote y la época en el comportamiento de la proteína bruta y la fibra en el pasto *Brachiaria decumens*. *Med. Vet.* 20: 1-4.
- Rippy, J. F. M., M. M. Peet, F. J. Louws, P. V. Nelson, D. B. Orr, and K. A. Sorensen. 2004. Plant development and harvest yield of greenhouse tomatoes in six organic growing systems. *HortScience* 39: 223-229.
- Rodríguez-Sánchez, A. C. 2003. Como producir con facilidad, rapidez y óptimos resultados forraje verde hidropónico. Ed. Diana. México, D. F.
- SAGARPA-SENASICA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación / Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2000. Manual de buenas prácticas en producción de leche caprina. Dirección General de Inocuidad Agroalimentaria, Acuícola y Pesquera. Delegación Regional. Gómez Palacio, Durango, México.
- Santamaria-Cesar, J., U. Figueroa-Viramontes y M. del C. Medina-Morales. 2004. Productividad de la alfalfa en condiciones de salinidad en el distrito de riego 017, Comarca Lagunera. *Terra Latinoamericana* 22: 343-349.
- SPSS (Statistical Package for the Social Science). 1996. Statistic program stat soft no. 7. Somers, NY, USA.
- Taiz, L. and E. Zeiger. 2003. Fisiología vegetal. Artemed. Porto Alegre, Brasil.
- Teixeira, V. C., D. Miranda, C. Coser, E. Martins, D. Do Nascimento, e J. Ribeiro. 2009. Producao do materia seca e valor nutritivo de pastagem de capim-elefante sob irrigacao e edubacao nitrogenada. *Rev. Bras. Zoot.* 38: 435-442.
- Van Soest, P. J., D. R. Mertens, and B. Deinum. 1991. Preharvest factors influencing quality of conserved forage. *J. Anim. Sci.* 47: 712-720.
- Vargas-Rodríguez, C. F. 2008. Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. *Agronomía Mesoamericana* 19: 233-240.
- Zakaria, M. S., A. H. Saelo, E. B. Ahmed, and R. A. Abou-El-Ela. 2006. Cottonseed, protein, oil yields and oil properties as influenced by potassium fertilization and foliar application of zinc and phosphorus. *World J. Agric. Sci.* 2: 66-74.

## ARTÍCULO 2

### **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, Manuel Murillo Ortiz

*Revista Interciencia: Enviado para revisión.*

## 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 vermicomposta (TVC), té de composta (TC), y una solución nutritiva (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 (CMS) y proteína cruda (CPC) de los forrajes, obteniéndose el mayor CMS con el tratamiento TC, mientras que TVC y SQ obtuvieron los más altos CPC. Sin embargo, el rendimiento, contenido de fenólicos y capacidad antioxidante del FVH de maíz producido no fueron diferentes ( $p > 0,05$ ) al aplicar fertilización orgánica o inorgánica. Asimismo, todos los atributos nutrimentales evaluados se encontraron dentro de los límites recomendados para forrajes de calidad. La capacidad antioxidante y el contenido fenólico total de los FVH fueron bajos en todos los tratamientos, esto pudiendo ser atribuido a la corta edad del forraje al momento de la cosecha, además que las plantas no estuvieron expuestas a factores de estrés por las condiciones controladas en el invernadero. Las soluciones fertilizantes orgánicas aplicadas (tés de composta y de vermicomposta) pueden ser utilizadas en la producción de FVH en invernadero, debido principalmente al rendimiento obtenido así como a la composición nutricional y química del forraje de maíz producido, las cuales estuvieron dentro de los valores de calidad recomendados en forrajes.

*Palabras clave:* forraje hidropónico, compuestos fenólicos, calidad nutricional, fertilización orgánica.

## ABSTRACT

The objective in the current study was to evaluate yielding, nutritional composition, total phenolic content and antioxidant capacity of green hydroponic forage (FVH) of corn under organic fertilization. Applied treatments were vermicompost tea (TVC), compost tea (TC), and nutrient solution (SQ) as control. A factorial design was used in blocks randomly assigned, doing six replicates of treatments. Fertilization type significantly affected ( $p < 0,01$ ) dry matter (CMS) and crude protein content (CPC) in the foliage, having the

TC the highest CMS, while TVC and SQ obtained the highest CPC. However, yielding, phenolic content and antioxidant capacity of produced FVH of corn were not different ( $p>0,05$ ) using either organic or inorganic fertilization. Moreover, all evaluated nutrimental attributes were within recommended quality limits for foliage. Antioxidant capacity and phenolic content of FVH were low in all treatments, 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 FVH production in greenhouse mainly due to the obtained yielding, along with the nutrimental and chemical composition of the produced corn foliage, which are within recommended quality values for foliage.

*Keywords:* Hydroponic forage, phenolic compounds, nutritional quality, organic fertilization

## SUMARO

O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho, qualidade nutricional, conteúdo de fenólicos e capacidade antioxidante de forragem verde hidropônico (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 afectado significativamente ( $p<0,01$ ) a conteúdo de matéria seca (CMS) e de proteína bruta (CPC) na folhagem, tendo tratamento TC o mais alto CMS, enquanto TCF e SQ obtidos mais alto CPC. No entanto, o desempenho, conteúdo fenólico e capacidade antioxidante 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. Capacidade antioxidante e conteúdo fenólico total do FVH foram reduzidos em todos os tratamentos, 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.

PALAVRAS-CHAVE: forragem hidropônica, compostos fenólicos, qualidade nutricional, fertilização orgânica

## **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 tanto en invernaderos automatizados como en sistemas menos tecnificados estableciendo condiciones necesarias de temperatura, humedad y luz (Arano, 1998), y dentro de sus principales ventajas se encuentran su alta productividad de biomasa, 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 poli-gástricos, incrementando su fertilidad y productividad además de disminuir la incidencia de algunas enfermedades (Vargas, 2008; Romero *et al.*, 2009). Estos efectos benéficos del consumo de FVH sobre 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 compuestos fitoquímicos con reconocida bioactividad como lo son los compuestos fenólicos (CF), 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 proteína 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 mayores del 5% 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 *et al.*, 2006), por lo que se han recomendado a los CF como aditivos en los preparados alimenticios para ganado (Lasa *et al.*, 2010).

La concentración de CF en las plantas está en función tanto de factores intrínsecos (p.e. especie, variedad y tejido vegetal) como extrínsecos tales como condiciones ambientales y de manejo agronómico, entre las que 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 aplicación de fertilización orgánica incrementó el contenido de CF en *Morus alba* L., una gramínea forrajera cultivada en suelo, mientras que otros estudios indican un efecto nulo sobre los CF en forrajes aplicando 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 *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 fertilizantes orgánicas (tés de composta y de vermicomposta) 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 (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 pre germinada mediante inmersión en agua potable a 26±2°C durante 24h. Después las semillas fueron escurridas y colocadas en botes de plástico de 20 l 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 con una densidad de siembra de  $3.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  (Salas Pérez *et al.*, 2010). Las plántulas fueron irrigadas a suficiencia con agua potable, con un volumen de riego promedio de  $9.87 \text{ l} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}$ . El riego fue aplicado cada hora con atomizador a presión desde las 9:00 hasta las 18:00 h a partir del día de siembra hasta la cosecha de los forrajes (día 16). La composta y vermicomposta utilizadas en el presente estudio fueron proporcionadas por el Instituto Tecnológico de Torreón.

*Tratamientos.* Los tratamientos fueron té de vermicomposta (TVC), té de composta (TC) y solución química (SQ) como control, y fueron aplicados a partir del día 5 hasta el día de cosecha. Las soluciones orgánicas fueron preparadas de acuerdo a Ingham (2005), y la solución nutritiva utilizada fue la recomendada por Rodríguez (2003). La composición química de los tratamientos utilizados se muestra en la Tabla I. Los tratamientos fueron aplicados dos veces al día (8:00 y 19:00 h) sobre la parte aérea del forraje, con un volumen promedio de  $4.63 \text{ l} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}$ .

#### *Pruebas analíticas*

*Rendimiento.* Se calculó la conversión semilla-forraje fresco (CSF), la cual indica los kg de forraje producido por kg de semilla utilizada (Vargas, 2008). Asimismo, también se reportó el rendimiento del forraje en  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$  en base a peso fresco (PF).

*Análisis de composición química.* Los análisis químicos del contenido de materia seca (CMS), proteína cruda (CPC) y grasa se realizaron siguiendo los métodos oficiales de la AOAC (2005). La materia seca se cuantificó colocando muestra fresca (12 g) en cajas de aluminio en estufa de aire forzado a  $70^\circ\text{C}$  hasta peso constante. La CPC se cuantificó con el método micro Kjeldhal, mientras que el contenido de grasa se determinó mediante el método Soxhlet usando un extractor Goldfish (Labconco, EU). 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 (parte aérea y raíces) fue lavado con agua potable durante 2 minutos para remover residuos de las soluciones, dejándose secar extendido en papel a la sombra a temperatura ambiente

( $30 \pm 2^\circ\text{C}$ ) durante 5 días. Posteriormente el material seco fue pulverizado, almacenándose en tubos de plástico a  $-18^\circ\text{C}$  hasta la obtención de extractos.

*Obtención de extractos.* Se mezclaron 10 mg de muestra seca en 10 ml de etanol al 80% en tubos de plástico con tapa de rosca, los cuales fueron colocados en agitador rotatorio (ATR Inc., EU) durante 4 horas a 20 rpm a  $5^\circ\text{C}$ . Los tubos fueron centrifugados a 3000 rpm durante 5 minutos, y el sobrenadante fue extraído para su análisis.

*Contenido de fenólicos totales.* El contenido fenólico total se midió usando una modificación del método Folin-Ciocalteu (Singleton y Rossi, 1965) publicado por Esparza Rivera *et al.* (2006). Se mezclaron 30  $\mu\text{l}$  de muestra con 270  $\mu\text{l}$  de agua destilada en un tubo de ensaye, y a esta solución se le agregaron 1.5 ml de reactivo Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich, St. Louis MO, EU) diluido (1:15), agitando en vórtex durante 10 segundos. Después de 5 minutos se añadieron 1.2 ml de carbonato de sodio (7.5% p/v) agitándose durante 10 segundos. La solución fue colocada en baño maría a  $45^\circ\text{C}$  por 15 minutos, y luego se dejó enfriar a temperatura ambiente. La absorbancia de la solución fue leída a 765 nm en un espectrofotómetro HACH UDR 4000. El contenido fenólico se calculó mediante una curva patrón usando ácido gálico (Sigma, St. Louis, Missouri, EU) como estándar, y los resultados se reportaron en mg de ácido gálico equivalente por g de muestra base seca (mg equiv AG $\cdot$ g $^{-1}$  BS). Los análisis se realizaron por triplicado.

*Capacidad antioxidante equivalente en Trolox (método ABTS $^{*+}$ ).* La capacidad antioxidante equivalente en Trolox se evaluó de acuerdo al método *in vitro* ABTS $^{*+}$  publicado por Esparza Rivera *et al.* (2006). Se preparó una solución de ABTS $^{*+}$  con 40 mg de ABTS (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 filtro en papel Whatman 40 (GE Healthcare UK Limited, Little Chalfont, Buckinghamshire, Reino Unido), y la absorbancia se ajustó a  $0.700 \pm 0.010$  a una longitud de onda de 734 nm utilizando solución fosfato buffer 5 Mm. Para la determinación de capacidad antioxidante se mezclaron 100  $\mu\text{l}$  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  $\mu\text{M}$  equivalente en Trolox por g base seca ( $\mu\text{M}$  equiv Trolox $\cdot\text{gm}^{-1}$  BS). Los análisis se realizaron por triplicado.

*Diseño experimental y análisis estadístico.* El diseño experimental fue unifactorial en bloques completamente al azar con seis repeticiones de tratamientos. Los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza usando el programa estadístico SAS (SAS 9.0, New Jersey, EU) y para las comparaciones de medias se usó la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).

## **Resultados y Discusión**

*Rendimiento.* Los resultados obtenidos indicaron que no hubo diferencia en el rendimiento en base a la conversión semilla-forraje fresco (CSF) y al peso fresco ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) entre los forrajes producidos, independientemente que fueran fertilizados con las soluciones orgánicas o con la química inorgánica. Asimismo, los CSF en los forrajes 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 igual o mayor a 1:5, siendo además posible obtener rendimientos en base fresca hasta 100 veces mayores que en un sistema de producción convencional de forraje (Müller *et al.*, 2006; Vargas, 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 de fertilización 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 composta y de vermicomposta se deben principalmente a que los nutrientes contenidos en estas soluciones se encuentran en formas solubilizadas, lo cual aumenta su disponibilidad para las plantas. Estos autores señalan que la alta solubilidad de nutrientes en dichas soluciones fertilizantes 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 fertilizante presentó efectos significativos ( $p < 0.01$ ) sobre importantes atributos nutricionales del FVH como lo son el contenido de materia seca (CMS) y proteína cruda (CPC), 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 rangos 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, es un factor determinante que impacta la acumulación de materia seca en cultivos sometidos a altas densidades de siembra, como en el forraje verde hidropónico. Asimismo, la frecuencia del riego posiblemente favoreció la oxigenación radicular y el aprovechamiento de los nutrientes, mejorándose la traslocación de fotosintatos a través de la planta, lo cual coincide por lo reportado por Rivera *et al.* (2010) quien constató la importancia de la ventilación de las raíces para el uso óptimo de las soluciones nutritivas. Respecto al contenido de PC, los resultados obtenidos coinciden con Wing y Rojas (2006), quienes mencionan que una adecuada disponibilidad de nitrógeno (N) favorece la producción de proteína. El mayor CPC del forraje se observó con la SQ, seguido por el TVC. Es conocido que las plantas absorben N orgánico e inorgánico, aunque la síntesis proteica en algunas gramíneas y especies no leguminosas cultivadas se ve estimulada mayormente por las formas orgánicas de N absorbido (Resh, 2001). Los resultados del presente trabajo indican que las soluciones de fertilización 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 menores al 1 % 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

inferiores al 4% base seca pueden ser consumidos por rumiantes sin causar 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 que los forrajes verdes hidropónicos producidos en invernadero destinan la mayor parte de los nutrientes absorbidos a la formación de biomasa debido a que las plantas 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 plantación, que es una etapa temprana de crecimiento en la que regularmente se presenta una baja producción de fenólicos (Chirinos *et al.*, 2007).

La capacidad antioxidante del FVH no fue afectada significativamente por el tipo de solución fertilizante, encontrándose valores entre 262.5 a 300.1  $\mu\text{M}$  equiv Trolox/g (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 el forraje estuviera expuesto a estrés durante su producción, resultando en un valor bajo de capacidad antioxidante *in vitro* de los FVH.

## **Conclusiones**

El rendimiento, contenido de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante del forraje verde hidropónico 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 nutrimentales evaluados estuvieron dentro de los valores reportados como aceptables en forrajes de buena calidad nutritiva. Por otra parte, el contenido fenólico total del FVH orgánico 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 futuras investigaciones 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.

## 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. *Journal of Medicinal Plants Research*. 4:33-40.
- Antolovich M, Prenzler P, Robards K, Ryan D (2000) Sample preparation in the determination of phenolic compounds in fruits. Critical review. *The Analyst* 125: 989-1009.
- AOAC (2005) *Official methods of Analysis of AOAC International*. 18<sup>th</sup> edition,
- Arano C (1998) Forraje verde hidropónico y otras técnicas de cultivo sin tierra. Formato CD. Versión 2.0. Buenos Aires, Argentina.
- Barry TN, McNabb WC (1999) The implications of condensed tannins on the nutritive value of temperate forages fed to ruminants. *British Journal of Nutrition* 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 (*Tropaerum tuberosum* Ruiz & Pavon). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87:437-446.
- Esparza Rivera JR, Stone MB, Stushnoff C, Pilon Smith 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. *Journal of Food Science* 71:270-276.
- FAO (2001) *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Manual Técnico de Producción de Forraje verde hidropónico*. TCP/ECU/066 (A) "Mejoramiento de la disponibilidad de alimentos en los Centros de Desarrollo Infantil del INNFA" Oficina Regional De La FAO Para América Latina y El Caribe Santiago, Chile.
- 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 Latinoamericana* 21:471-480.
- 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.). *Avances de Investigación Agropecuaria* 9:69-85.

- García DE, Medina MG (2006) Composición química, metabolitos secundarios, valor nutritivo y aceptabilidad relativa de diez árboles forrajeros. *Zootecnia Tropical* 24:233-250.
- 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. *Livestock Research for Rural Development* 18:1-10.
- Ingham RE (2005) *The Field Guide for Actively Aerated Compost Tea*. First Edition. Corvallis, Oregon.
- Javanmardi J, Stushnoff C, Locke E, Vivanco LM (2003) Antioxidant activity and total phenolic content of Iranian *Ocinum* accessions. *Journal of Food Chemistry* 83:547-550.
- Lasa J, Mantecon C, Gomez MA (2010) Utilización de taninos en la dieta de rumiantes. Sitio argentino de producción animal. Consultado en [www.producción-animal.com.ar](http://www.producción-animal.com.ar) el 21 de mayo de 2011.
- 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. Quantification of Tannins in Tree and Shrub Foliage. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. pp. 1-42.
- Martínez MAL, Pérez HM, Pérez AL, Gomez 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 Universitaria*. 17:45-54.
- Müller L, Souza dos SO, Manfron PA, Petter MSL, Haut V, Dourado ND, Lemos de M N, Camacho GD (2006) Forragem roteín pos de milho: producao 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 choi (*Brassica roteín*. Bonsai, Chinensis group) grown under roteín posta and chemical fertilizer. *Journal of Food Science and Agriculture*. Publicado online en Wiley Interscience [www.interscience.wiley.com](http://www.interscience.wiley.com) Consultado en Febrero del 2011.
- Reed, J. D., Krueger, C., Rodríguez, G., Hanson, J.2000. Secondary plant compounds and forage evaluation. In: Givens D. I., Owen E., Axford R. F. E., Omed H. M. (eds.). Forage. Evaluation in Ruminant Nutrition.CAB International, 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 pallidacaule*) y Kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Sociedad Química del Perú*. 74:85-99.
- Resh HM (2001) *Cultivos hidropónicos*. 5ta. Ed. Mundiprensa, España. Pp 99.
- Rivera A, Moronta M, González EM, González D, Perdomo D, García DE, Hernández G (2010). Producción de forraje hidropónico de maíz (*Zea mays* L.) en condiciones de iluminación deficiente. *Zootecnia Tropical* 28:33-41.

- Rodríguez SAC (2003) *Como producir con facilidad, rapidez y óptimos resultados forraje verde hidropónico*. Ed. Diana. México, D. F.
- Romero VME, Córdova DG, Hernández GEO (2009) Producción de Forraje Verde Hidropónico y su aceptación en Ganado Lechero. *Acta Universitaria* 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 Latinoamericana*. 28:355-360.
- SAS (1994) *Statistic Analysis System 9.0*. Program Stat soft. Inc. N.J., U.S.A.
- Singleton VL, Rossi JA (1965) Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Journal of Enology and Viticulture* 16:144-158.
- Sneath R, McIntosh F (2003) *Review of hydroponic fodder production for beef cattle. On farm*. Meat & Livestock Australia Limited. Australia. 54 p.
- Theunissen J, Ndakidemi PA, Laubscher CP (2010) Potential of vermicomposta produced from waste on the growth and nutrient status in vegetable production. *International Journal of the Physical Sciences* 5:1964-1973.
- Van Soest PJ, Mertens DR, Deinum B (1978) Preharvest Factors Influencing Quality Of Conserved Forage. *Journal of Animal Science* 47:712- 720.
- Vargas RCF (2008) Comparación Productiva de Forraje Verde Hidropónico de Maíz, Arroz y Sorgo Negro Forrajero. *Agronomía Mesoamericana* 19:233-240.
- Wing JR, Rojas BA (2006) Nitrógeno orgánico y químico en sorgo negro con cobertura permanente de maní forrajero. II. Fraccionamiento de la rotein. *Agronomía Costarricense* 30: 61-69.
- Zhao X, Nechols JR, Williams KA, Wang W, Carey EE (2009) Comparison of phenolic acids in organically and conventionally grow pac choi (*Brassica rapa L. chinensis*). *Journal of the Food Science and Agriculture* 89:940-946.

TABLA I  
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS SOLUCIONES DE FERTILIZACION  
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
	<b>mg L<sup>-1</sup></b>										<b>dS m<sup>-2</sup></b>
<b>TVC</b>	101	10.0	50.7	200	26.8	4.3	1.5	0.3	1.4	7.3	1.2
<b>TC</b>	170	28.5	33.9	245.6	31.6	4.5	1.6	0.4	1.6	7.1	2.5
<b>SQ</b>	202	48.5	32.4	81	60.6	23.8	1.8	0.09	0.07	7.5	1.7

TVC: té de vermicomposta; TC: té de composta; SQ: solución química  
CE: conductividad eléctrica

TABLA II  
 RESULTADOS\* DEL RENDIMIENTO Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE  
 FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE MAÍZ PRODUCIDO EN  
 INVERNADERO BAJO DIFERENTES TIPOS DE SOLUCION FERTILIZANTE

TRATAMIENTO	Rendimiento		MS	FAD	FND	PC	GRASA
	CSF	Kg m <sup>-2</sup>	% B.F. <sup>x</sup>		% B.S. <sup>y</sup>		
TVC	1:5.6	19.71	15.42c	17.34	46.23	13.34a	4.21
TC	1:5.1	18.09	18.24a	18.05	44.53	12.26b	4.26
SQ	1:5.2	18.23	16.69b	18.00	45.15	13.52a	4.31

\*Medias (n = 6). Diferencias entre medias determinadas mediante la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).

<sup>x</sup> % B.F. = Porcentaje en base fresca; <sup>y</sup> % B.S. = Porcentaje en base seca

TVC: té de vermicomposta; TC: té de composta; SQ: solución química.

CSF: conversión semilla forraje fresco; MS: materia seca; FAD: fibra ácido detergente, FND: fibra neutro detergente; PC: proteína cruda.

Valores seguidos de diferente letra en la columna son significativamente diferentes.

TABLA III  
 CONTENIDO TOTAL DE FENÓLICOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE\* DE FORRAJE VERDE  
 HIDROPÓNICO DE MAÍZ PRODUCIDO EN INVERNADERO BAJO DIFERENTES TIPOS DE  
 SOLUCION FERTILIZANTE

TRATAMIENTOS	Contenido fenólico total mg AG equiv / g BS <sup>1</sup>	Capacidad antioxidante $\mu$ M equiv Trolox / g BS <sup>2</sup>
TVC	1.25	290.85
TC	1.28	262.52
SQ	1.30	300.12

\*Medias (n = 6). Diferencias entre medias determinadas mediante la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).

TVC: té de vermicomposta; TC: té de composta; SQ: solución química

<sup>1</sup>Datos expresados como mg equivalente de ácido gálico por g base seca

<sup>2</sup>Datos expresados como  $\mu$ M equivalente en Trolox por g base seca

Valores seguidos de diferente letra en la columna son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

## **CAPÍTULO 3. DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES**

### **3.1. Discusión general**

El objetivo principal del presente trabajo de investigación fue evaluar la fertilización orgánica en el rendimiento, calidad bromatológica, contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del forraje verde hidropónico de maíz producido en invernadero. Asimismo se determinó el efecto del tipo de fertilización, genotipo y día de cosecha sobre el rendimiento y calidad bromatológica de dicho tipo de forraje hidropónico.

Se ha reportado en la literatura que la obtención de forraje verde hidropónico en invernadero es un sistema de reconocida productividad debido al alto rendimiento que se puede alcanzar. En el presente trabajo se obtuvieron rendimientos similares a los obtenidos en otros estudios con forraje de maíz, siendo en el rango de 18-24 kg·m<sup>-2</sup>. Estos valores sugieren que es posible obtener rendimientos en base fresca hasta 100 veces mayores en comparación a sistemas tradicionales de producción de forraje. Esta alta productividad ha sido atribuida a diversos factores que incluyen las condiciones ambientales protegidas en el invernadero, además de una adecuada disponibilidad de nutrientes proporcionada por las soluciones fertilizantes aplicadas. En este estudio las soluciones de fertilización utilizadas, tanto tradicional como orgánicas fueron diferentes en su composición aunque todas cubrieron los requerimientos nutrimentales mínimos del forraje en cuanto al aporte de macronutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio durante el periodo en que se aplicaron (a partir del quinto día de siembra hasta un día antes de la cosecha). Asimismo, aunque los requerimientos nutricionales de la planta durante el periodo de aplicación de fertilizantes son relativamente bajos, se observó que la ausencia de fertilización resultó en menor rendimiento, por lo cual se concluyó que la fertilización en esta etapa de producción es requerida. Asimismo, se obtuvo mayor rendimiento al día de cosecha 16,



lo cual pudiera atribuirse al aumento de los constituyentes de las paredes celulares, así como a una mayor movilización de nutrientes hacia órganos más jóvenes. Con respecto a la calidad bromatológica del forraje, algunos de los atributos fueron mejores el día 12 (mayor contenido de proteína y grasa), mientras que la materia seca y contenido de fibras se incrementaron con el crecimiento de la planta. Sin embargo, todos los valores encontrados en los días de evaluación (12, 14 y 16) estuvieron dentro de los niveles recomendados.

El contenido de compuestos fenólicos en el forraje verde hidropónico de maíz fue similar tanto con fertilización orgánica como química, obteniéndose niveles menores al 4% base seca, los cuales son considerados adecuados e incluso benéficos para la salud de rumiantes, ya que se ha reportado que poseen propiedades antioxidantes que disminuyen la incidencia de algunas enfermedades e incrementan la absorción de proteína a nivel intestinal elevando la productividad. Por otra parte, la capacidad antioxidante del forraje verde de maíz hidropónico fue considerada relativamente baja, lo cual es normal en este producto vegetal. Entre los factores que pudieron incidir sobre la capacidad antioxidante de este tipo de forraje se encuentra la edad de la planta en la que se realizó la cosecha, ya que en dicha etapa de crecimiento la planta regularmente utiliza sus reservas nutricionales y capacidad metabólica para la formación de biomasa, priorizándose sobre la formación de compuestos fenólicos y compuestos con capacidad antioxidante. Además, se indujo un bajo nivel de síntesis de compuestos fenólicos y antioxidantes en el forraje verde hidropónico de maíz debido al casi nulo nivel de estrés atribuido a las condiciones ambientales controladas del invernadero en las cuales se produjo el forraje.

### **3.2. Conclusiones**

En función de las condiciones bajo las cuales fue conducido el presente estudio se concluye:

El rendimiento, calidad bromatológica, contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del forraje fertilizado con soluciones orgánicas no fueron diferentes al fertilizado tradicionalmente aplicando soluciones químicas, por lo cual es posible sustituir la fertilización química por la orgánica en forraje verde hidropónico de maíz en invernadero.

El mayor rendimiento de forraje verde hidropónico se obtuvo el día de cosecha 16, no habiendo diferencia por el tipo de fertilización utilizada. Por otra parte, aunque la edad de la planta al momento de la cosecha es temprana (12 a 16 días de crecimiento), es necesaria la fertilización para obtener alto nivel de rendimiento. Asimismo, todos los valores de calidad bromatológica del forraje verde hidropónico estuvieron dentro de los rangos recomendados.

El contenido fenólico del forraje verde hidropónico es adecuado para su consumo por rumiantes. La capacidad antioxidante del forraje verde hidropónico se considera relativamente baja debido a factores tales como la temprana edad de la planta al momento de cosecha y el adecuado suministro de nutrientes, así como las condiciones controladas del invernadero en el que se obtuvo el forraje.

## CAPÍTULO 4. BIBLIOGRAFÍA

- ABDULLAH A. 2001. Nutritive value of Barley fodder grown in a Hydroponics System. Thesis Faculty of Agriculture. University Putra Malaysia.
- ALPI A., and F. TOGNONI. 1991. Cultivo en invernadero. 3a. edición Edigrafos. España.
- ANTOLOVICH M., P. PRENZLER, K. ROBARDS and D. RYAN. 2000. Sample preparation in the determination of phenolic compounds in fruits. *The Analyst. Critical Review.* 125: 989-1009.
- ARORA A., R. K. SAIRAM y G. C. SRIVASTAVA. 2002. Review articles. Oxidative stress and antioxidative system in plants. *Current Science.* 80:1227-1238.
- AZCON-BIETO y M. TALÓN. 1993. Fisiología y bioquímica de plantas. Mc Graw-Hill Interamericana. Madrid, España.
- BALCH J. F., 2006. Los súper antioxidantes. *Muscaria* 2ª edición. España.
- BELTRÁN O. M. C., T. G. OLIVA-COBA, T. GALLARDO-VELÁZQUEZ, y G. OSORIO-REVILLA. 2009. Acido Ascórbico, contenido fenólico, y capacidad antioxidante de las variedades roja, cereza, amarilla y blanca del fruto del cactus de la pitaya (*Stenocereus stellatus*). *Revista Agrociencia.* 43:153-162.
- BENAVIDEZ M. A. 2002. Ecofisiología y bioquímica del estrés en plantas. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- BIDWELL R. G. S. 1993. Fisiología Vegetal. AGT Ed. México D.F.
- CAMPÊLO J. E. G., J. C. GOMES DE O., A. DA SILVA-ROCHA., J. F. DE CARVALHO, G. COUTINHO- MOURA, M. E. DE OLIVEIRA, J. A. LOPES-DA SILVA, J. W. DA SILVA-MOURA, V. MARCHÃO-COSTA, y L. DE MORAIS-UCHOA. 2007. Forragem de milho hidropônico produzida com diferentes substratos. *Rev. Brasileira de Zootecnia,* 36:276-281.
- CAPULIN G.J., R. NUÑEZ-ESCOBAR, J. D. ETCHEVERS-BARRA, y G. A. BACA-CASTILLO. 2001. Evaluación del extracto líquido de estiércol bovino como insumo vegetal en hidroponía. *Agrociencia.* 35:287-299.
- CHANDRAN S. S., J. YI, K. M. DRATHS, R. V. DAENIKEN, W. WEBER, and J. W. FROST.

2003. Phosphoenolpyruvate availability and the biosynthesis of shikimic acid. *Biotechnology Prog.* 19:808-814.
- CHECA J. 2001. Horticultura hidropónica en España. <http://www.rockwool.pl/sw649.asp>. Consultado el 21 de Abril de 2008.
- CHIRINOS R, D. CAMPOS, C. ARBIZU, H. ROGEZ, J. F. REES, Y. LARONDELLE, G. NORATTO, y Z. L. CISNEROS. 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 & Pavon). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87:437-446.
- CHISHAKI N. y T. HORIGUCHI. 1997. Responses of secondary metabolism in plants to nutrient deficiency. *Soil Sci. Plant Nutr.* 43:987-991.
- DIXON R. A. y N. L. PAIVA. 1995. Stress-Induced Phenylpropanoid metabolism. *The Plant Cell.* 7:1085-1097.
- FAO. 2001. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Manual Técnico de Producción de Forraje verde hidropónico. TCP/ECU/066 (A) "Mejoramiento de la disponibilidad de alimentos en los Centros de Desarrollo Infantil del INNFA" Oficina Regional De La FAO Para América Latina y El Caribe Santiago, Chile.
- FAVELA CH. E., P. PRECIADO-RANGEL, y A. BENAVIDEZ-MENDOZA. 2006. Manual de Soluciones Nutritivas. Departamento de Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro 1° Edición. Pp 31-48.
- FERREIRA R. 1995. El sistema de defensas antioxidantes. Monografía. Estrés oxidativo y antioxidante. Buenos Aires, Argentina.
- FREI B., and J.V. HIGDON. 2003. Antioxidant activity of tea polyphenols in vivo: evidence from animal studies. *Journal of Nutrition.* 3275-3284.
- FRITZ C., N. PALACIOS-ROJAS, R. FEIL, y M. STITT. 2006. Regulation of secondary metabolism by the carbon-nitrogen status in tobacco: nitrate inhibits large sectors of phenylpropanoid metabolism. *Plant Journal* 46:533-548.
- GARCÍA E. A., S. J. KOHASHI, C. G. A. BACA, y E. J. A. S. ESCALANTE. 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. A. 2005. Efecto de abonos orgánicos en el rendimiento y calidad del forraje verde hidropónico. Tesis. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- GARCÍA H. L. A., A. AGUILAR, A. LUÉVANO, Y A. CABRAL. 2005. La globalización productiva Y comercial de la leche y sus derivados. Articulación de la ganadería intensiva lechera de la Comarca Lagunera. Edit. Plaza y Valdez. Pp 11-13.
- GARCÍA G. R., L. Dendooven, y M. F. A. Gutiérrez. 2008. Vermicomposting leachate (worm tea) as liquid fertilizer for maize (*Zea mays* L.) forage production. *Asian J. Plant Sci.* 7: 360-367.
- HANSBERG T. W. 2002. Biología de las especies de oxígeno reactivas. Mensaje Bioquímico. UNAM. Mexico D.F.
- HARGREAVES J. A., M. S. ADL, WARMAN P. R., and RUPASINGHE H. P. V. 2008. The effects of organic amendments on mineral element uptake and fruit quality of raspberries. *Plant Soil* 308: 213-226.
- HERMANN K. M. 1995 a. The Shikimate pathway early steps in the biosynthesis of aromatic compounds. *The Plant Cell.* 7:07-919.
- HERMANN K. M. 1995 b. The Shikimate pathway as an entry to aromatic secondary metabolism. *Plant Physiol.* 107: 7-12.
- HERRERA A. A. M., L. A. DE PABLOS-ALVIAREZ, R. LÓPEZ-MADURO, M. A. BENEZRA-SUCRE, y L. RÍOS DE ÁLVAREZ. 2007. Degradabilidad y digestibilidad de la materia seca del forraje hidropónico de maíz (*zea mays*). Respuesta animal en términos de consumo y ganancia de peso. *Revista Científica FCV-LUZ* 17:372-379.
- HERRERA T. E., S. M. A. CERRILLO, R. A. S. JUÁREZ, O. M. MURILLO, R. F. G. RÍOS, E. O. REYES, y B. H. BERNAL. 2009. Efecto del tiempo de cosecha sobre el valor proteico y energético del forraje verde hidropónico de trigo. *Interciencia.* 35: 284-289.
- INGHAM R. E. 2005. *The Field Guide for Actively Aerated Compost Tea.* First Edition. Corvallis, Oregon.
- JUSZCZUK I. M., A. WIKTOROWSKA, E. MALUSA, and A. M. RYCHTER. 2004. Changes in the concentration of phenolic compounds and exudation induced by phosphate deficiency in bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.) *Plant and Soil* 267:41-49.
- LARSON R. A. 1988. The Antioxidants of Higher Plants. *Phytochemistry.* 27: 969-978.

- LEHNINGER. 2007. Principios de bioquímica. Cuarta edición.
- LIAKOPOULOS G. y G. KARABOURNIOTIS. 2005. Boron deficiency and concentrations and composition of phenolic compound in *Olea europea* leaves: a combined growth chamber and field study. *Tree Physiology*. 25:307-315.
- LÓPEZ A. R., B. MURILLO-AMADOR, y G. RODRÍGUEZ-QUEZADA. 2009. El forraje verde hidropónico (FVH): una alternativa de producción de alimentos para el ganado en zonas áridas. *Rev. Interciencia* 34(2):121-126.
- MEZA C. Z. 2005. Evaluación de variedades de maíz y densidad de siembra en la producción de forraje verde hidropónico. Tesis. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Agronomía. División de Estudios de Posgrado. Marín, NL, México.
- MITTLER R. 2002. Oxidative Stress, antioxidants and stress tolerance. Review. *Trends in Plant Science*. 7: 405-410.
- MÜLLER L., P. A. MANFRON, S. L. P. MEDEIROS, O.S. DOS SANTOS, T. B. G. A. MORSELLI, D. DOURADO-NETO, E. B. FAGAN, A. H. BANDEIRA, y C. J. TONETTO. 2006. Valor nutricional da forragem hidropónica de trigo sob diferentes solucoes nutritivas. *Biosciencia*; 22:49-56.
- OCHOA M. E., U. FIGUEROA-VIRAMONTES, P. CANO-RÍOS, P. PRECIADO- RANGEL, A. MORENO-RESENDEZ, y N. RODRÍGUEZ-DIMAS. 2009. Té de composta como fertilizante orgánico en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* mill.) en invernadero. *Revista Chapingo serie Horticultura*. 15:245-250.
- PAGANGA G., N. MILLER, and C. A. RICE-EVANS. 1999. The Polyphenolic Content of Fruit and Vegetables and their Antioxidant Activities. What Does a Serving Constitute?. *Free Rad. Res.* 30:153-162.
- PANT A. P., T. J. K. RADOVICH, N. V. HUE, S. T. TALCOTT, and K. A. KRENEK. 2009. Vermicompost extracts influence growth, mineral nutrients, phytonutrients and antioxidant activity in pak choi (*Brassica rapa* cv. Bonsai, Chinensis group) grown under vermicompost and chemical fertilizer. *Journal of Food Science and Agriculture*. Publicado online en Wiley Interscience [www.interscience.wiley.com](http://www.interscience.wiley.com) Consultado en Febrero del 2011.
- PINEDA A. D, M. SALUCCI, R. LAZARO, G. MAIANI, y A. FERRO-LUZZI. 1999. Capacidad antioxidante y potencial de sinergismo entre los principales constituyentes antioxidantes

- de algunos alimentos. Rev. Cubana Aliment. Nutr. 13:104-111.
- PRECIADO R. P., H. M. FORTIS, H. J. GARCÍA, P. E. RUEDA, J. R. ESPARZA, H. LARA, M A. SEGURA, y J. OROZCO. 2011. Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero. *Interciencia* 36: 1-5.
- REIGOSA M.J, N. PEDROL, y A. SÁNCHEZ. 2004. La Ecofisiología vegetal. Una ciencia de síntesis. Thomson. Universidade de Vigo. España.
- RESH H. M. 2001. Cultivos hidropónicos. 5ta. Edición. Mundiprensa. España.
- RIPPY J. F. M. M. PEET, F. J. LOUIS, and P.V. NELSON. 2004. Plant development and harvest yield of greenhouse tomatoes in six organic growing systems. *Hortscience* 39: 223-229.
- RIVERA A., M. MORONTA, E. M. GONZÁLEZ, D. GONZÁLEZ, D. PERDOMO, D.E. GARCÍA, y G. HERNÁNDEZ. 2010. Producción de forraje hidropónico de maíz (*Zea mays* L.) en Condiciones de iluminación deficiente. *Zootecnia Tropical* 28:33-41.
- RODRÍGUEZ D. A., R. M. HOYOS, R. y M. CHANG. 2001. Soluciones nutritivas en Hidroponía. Formulación y Preparación. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. Departamento de Biología. Universidad Nacional Agraria La Molina. 1° Edición. Pp 5-8.
- RODRÍGUEZ D. N., P. CANO-RÍOS, E. FAVELA-CHÁVEZ, U. FIGUEROA-VIRAMONTES, V DE ÁLVAREZ-REYNA, A. PALOMO-GIL, C. MÁRQUEZ-HERNÁNDEZ, y A. MORENO-RESENDEZ. 2007. Vermicomposta como alternativa orgánica en la producción de tomate en invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 13(2):185-192.
- RODRÍGUEZ DE LA R. G .S, D. L. HERNÁNDEZ-ACOSTA, I. C. FLORES- SAENZ, H. ESCOBEDO-CISNEROS, A. QUINTERO-RAMOS, V. SANTANA-RODRÍGUEZ, y S. M. RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ. 2009. Cascarilla de avena y paja de trigo utilizados como sustrato para la producción de forraje verde hidropónico. *Tecnociencia*.3:160-165.
- RODRÍGUEZ S. A. C. 2003. Como producir con facilidad, rapidez y óptimos resultados Forraje verde hidropónico. Ed. Diana, 1ra. Edición, México. 69-70.
- ROMERO P. N. A. 2009. Evaluación de dos niveles de reemplazo de ingredientes en dietas tradicionales por Forraje Hidropónico de maíz (*Zea mays* L.) para cerdos confinados en la fase de crecimiento y acabado. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencia de la Producción. Guayaquil, Ecuador.



- ROMERO V. M. E., G. CÓRDOVA-DUARTE, y E. O. HERNÁNDEZ-GALLARDO. 2009. Producción de Forraje Verde Hidropónico y su aceptación en Ganado Lechero. *Acta Universitaria*. 19:11-19.
- ROTAR P. 2006. Hydroponic Techniques Sprout, Healthy Inexpensive Fodder (En línea): <http://www.isar.org/pubs/ST/hidroponics47.html>. Consultado el 19 de mayo de 2009.
- RÜHMANN S., C. LESER, M. BANNERT, and D. TREUTTER. 2002. Relationship between growth, secondary metabolism and resistance of apple. Review article. *Plant Biol*. 4: 137-143.
- SAGARPA. 2010. Secretaria de Agricultura, ganadería, desarrollo rural y pesca. Lerdo, Durango, México.
- SALAZAR SOSA E., TREJO ESCAREÑO H.E., VAZQUEZ VAZQUEZ C., LOPEZ MARTINEZ J.D. 2007. Producción de maíz bajo riego por cintilla con aplicación de estiércol bovino. *Pyton*, 76:169-185.
- SIAP. 2009. Producción de forrajes en la Comarca Lagunera. Servicio de Información Alimentaria y Pesquera. Disponible en: [http://www.siap.gob.mx/index.php?searchword=forrajes&ordering=&searchphrase=all&itemid=518&option=com\\_search](http://www.siap.gob.mx/index.php?searchword=forrajes&ordering=&searchphrase=all&itemid=518&option=com_search). Consultado el 21 de mayo de 2010.
- SHAIKI F., and P.K.J.P.D. WANASUNDARA. 1992. Phenolic Antioxidants. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 32:67-103.
- STRACK D. 1997. Phenolic Metabolism. *Plant Biochemistry*. Chapter 10 pp 387-416. TAIZ L., y E. ZEIGER. 2006. *Plant Physiology*. Sinauer Associates Inc. Chapter En línea: <http://4e.plantphys.net/chapter.php?ch=13>. Consultado el 22 de septiembre de 2010.
- THEUNISSEN J., P. A. NDAKIDEMI, and C. P. LAUBSCHER. 2010. Potential of vermicompost produced from waste on the growth and nutrient status in vegetable production. *International Journal of the Physical Sciences* 5:1964-1973.
- VALDIVIA, E. 1997. Producción de Forraje Verde Hidropónico. Curso Taller.
- VARGAS, R.C.F. 2008. Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. *Agronomía Mesoamericana* 19:233-240.

**CAPÍTULO 5. ANEXOS**

## CARTA DE RECEPCION

Caracas, 15 de Julio de 2011.

DR. JUAN RAMÓN ESPARZA RIVERA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS GÓMEZ PALACIO  
UNIVERSIDAD JUAREZ DEL ESTADO DE DURANGO  
GÓMEZ PALACIO, DURANGO  
MÉXICO

**MS 4233**

**Apreciado Dr. Esparza Rivera,**

Hemos recibido el trabajo titulado **RENDIMIENTO, CALIDAD NUTRICIONAL, CONTENIDO FENÓLICO Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE MAÍZ (Zea mays) PRODUCIDO EN INVERNADERO BAJO FERTILIZACIÓN ORGÁNICA** por Salas Pérez, Lilia ; Esparza Rivera, Juan Ramón; Preciado Rangel, Pablo ; Álvarez Reyna, Vicente de Paul; Meza Velásquez, Jorge Armando ; Velásquez Martínez, José Rodolfo ; Murillo Ortiz, Manuel el cual será sometido al usual proceso de arbitraje.

Atentamente,

Miguel Laufer

Director

### **INTERCIENCIA**

Revista de Ciencia y Tecnología de América  
Journal of Science and Technology of the Americas  
Apartado Postal 51842, Caracas 1050-A Venezuela  
\*\*\*\*\*

Dirección para courier: INTERCIENCIA  
Calle Veracruz, Residencia La Hacienda  
Oficina 31-M, Las Mercedes, Caracas,  
Venezuela  
Tel: 58+212+9917525, Tel/Fax: 58+212+9923224  
e-mail: [interciencia@gmail.com](mailto:interciencia@gmail.com)  
suscripción: [www.interciencia.org/suscripciones.htm](http://www.interciencia.org/suscripciones.htm)  
[www.interciencia.org](http://www.interciencia.org)