



ORIGINAL

La irrigación con levaduras incrementa el contenido nutricional del forraje verde hidropónico de maíz



Martha H. Bedolla-Torres^a, Alejandro Palacios Espinosa^{b,*}, Oskar A. Palacios^a, Francisco J. Choix^c, Felipe de Jesús Ascencio Valle^a, David R. López Aguilar^a, José Luis Espinoza Villavicencio^b, Rafael de Luna de la Peña^b, Ariel Guillen Trujillo^b, Narciso Y. Avila Serrano^d y Ricardo Ortega Pérez^b

^a Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), La Paz, B.C.S., México

^b Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), La Paz, B.C.S., México

^c Universidad de Guadalajara (U de G), Guadalajara, Jalisco, México

^d Universidad del Mar (UMAR), Ciudad Universitaria, Puerto Escondido, Mixtepec, Juquila, Oaxaca, México

Recibido el 13 de noviembre de 2014; aceptado el 20 de abril de 2015

Disponible en Internet el 9 de setiembre de 2015

PALABRAS CLAVE

Forraje;
Hidroponía;
Levaduras
promotoras
de crecimiento

KEYWORDS

Fodder;
Hydroponics;
Plant growth
promoting yeast

Resumen El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la irrigación con las levaduras *Debaryomyces hansenii* var. Fabry, *Yarrowia lipolytica* YIBCS002, *Yarrowia lipolytica* var. BCS y *Candida pseudointermedia* sobre el contenido nutricional final del forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.), al ser efectuada en diferentes etapas de crecimiento de aquel (fase semilla-plántula o fase plántula-planta 20 cm), o bien durante todo el cultivo. Todas las levaduras incrementaron el contenido de proteína cruda, lípidos, cenizas, humedad y energía bruta, independientemente de la etapa de crecimiento del forraje en las que fueron aplicadas. El porcentaje de electrólitos (Na, K, Cl, sulfatos, Ca y Mg) varió en función de la levadura aplicada; *D. hansenii* incrementó todos los electrólitos, excepto el P. Se concluye que la adición de levaduras del género *Debaryomyces*, *Candida* y *Yarrowia* en la solución de riego de sistemas hidropónicos mejora el contenido de nutrientes del forraje verde. Esta práctica puede contribuir a la generación de cultivos de valor comercial en espacios limitados

© 2014 Asociación Argentina de Microbiología. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Yeast irrigation enhances the nutritional content in hydroponic green maize fodder

Abstract The objective of this study was to evaluate the effect of irrigation with yeasts (*Debaryomyces hansenii* var. Fabry, *Yarrowia lipolytica* YIBCS002, *Yarrowia lipolytica* var. BCS and *Candida pseudointermedia*) on the final nutritional content of hydroponic green maize fodder (*Zea mays* L.), applied at different fodder growth stages (1. seed-seedling stage,

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: oskar.palacios27@gmail.com (A. Palacios Espinosa).

2. seedling-plant 20 cm, 3. during all the culture). Irrespective of the fodder growth stages at which they were applied, all yeasts tested enhanced the content of raw protein, lipids, ash, moisture and energy. The percentage of electrolytes (Na, K, Cl, sulphates, Ca and Mg) showed different responses depending on the kind of yeast applied; *D. hansenii* exhibited the highest increment in all electrolytes, except for phosphorous. We conclude that the addition of yeasts belonging to the genera *Debaryomyces*, *Candida* and *Yarrowia* to the irrigation solution of hydroponic systems enhances the nutrient content of green fodder. This kind of irrigation can be applied to generate high commercial value cultures in limited spaces.

© 2014 Asociación Argentina de Microbiología. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introducción

El forraje verde hidropónico (FVH) es el producto de la germinación de granos de cereales como avena, maíz, cebada, trigo, sorgo, entre otros, bajo condiciones controladas^{22,41}. A nivel mundial, el FVH ha sido propuesto como una alternativa para la producción animal y el consumo humano¹⁸; este ofrece ventajas como la de poder cultivarse en áreas pequeñas y generar una producción continua durante el año³⁴. El contenido nutricional del forraje está directamente relacionado con la calidad de los productos obtenidos del ganado²⁹. El inconveniente de este sistema de cultivo es la generación de plantas con deficiencias nutricionales debido a la falta de sales y nutrientes en la solución nutritiva usada para irrigación⁴⁰.

Con el fin de incrementar el contenido nutricional de productos obtenidos a través de sistemas hidropónicos se han evaluado distintas condiciones de cultivo; se han probado, entre ellas, algunas modificaciones en el tipo e intensidad de la luz²³ y cambios en la composición de nutrientes en la solución de riego^{2,20}, así como el efecto de las estaciones del año en las que se realiza el cultivo⁸. También se han generado sistemas computacionales para controlar de manera más eficiente las concentraciones de macronutrientes y nutrientes esenciales como Ca^{+2} , K^+ y Cl^- en las soluciones de riego del cultivo hidropónico^{21,38}.

En estos sistemas es fundamental garantizar un mantenimiento adecuado de nutrientes disponibles para la planta, los cuales deben existir en cantidades suficientes en los momentos en que el cultivo los requiera¹⁷. Debido a la diferencia metabólica que existe entre las etapas de crecimiento, es sabido que durante el periodo de semilla la obtención de agua y de nutrientes del medio por absorción es primordial, mientras que en la plántula lo es el transporte de nutrientes almacenados⁶.

En los últimos años se han utilizado bacterias promotoras del crecimiento vegetal en sistemas hidropónicos con el objetivo de mitigar el estrés por deficiencias de hierro³⁶. Se ha reportado la existencia de levaduras capaces de favorecer el crecimiento de diversos cultivos como el arroz, la remolacha y el maíz; estas han mejorado la elongación de la raíz, la captación de nitrógeno y el peso seco de la planta^{1,13,14,27,30}. Estas mejoras se han vinculado a la producción de auxinas, como ácido indol-3-acético^{30,51}, a la solubilización de fosfatos^{1,49}, a la nitrificación, a la oxidación de compuestos azufrados¹⁵ y a la producción de sideróforos³⁹.

Dichos mecanismos incrementan el metabolismo, el contenido nutricional⁴⁴ y la acumulación de diversos componentes celulares en cultivos de interés agrícola^{7,50}. Considerando que las levaduras tienen la capacidad de mejorar varios parámetros de diferentes cultivos, la hipótesis de este trabajo es que la aplicación de levaduras durante el riego del FVH de maíz en alguna de sus etapas de crecimiento puede mejorar el contenido nutricional del forraje.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de 4 levaduras (*Debaryomyces hansenii* var. Fabry, *Yarrowia lipolytica* YIBCS002, *Y. lipolytica* var. BCS y *Candida pseudointermedia*) sobre el contenido final de proteínas, lípidos, cenizas, energía y electrolitos en el FVH de maíz, al ser aplicadas en diferentes etapas de crecimiento:

1. fase semilla-plántula, 2. fase plántula-planta de 20 cm, 3. durante todo el tiempo de crecimiento del FVH de maíz.

Materiales y métodos

Tratamiento de semillas

Para la producción de FVH se usaron semillas de maíz (*Zea mays* L.) procedentes del rancho Santa Fe, ubicado en la población de Santa Fe, km 111, carretera transpeninsular al norte de la ciudad de La Paz B.C.S., México. Las impurezas y semillas rotas fueron descartadas por flotación en agua y filtración a través de un tamiz n.º 6. Posteriormente, las semillas se desinfectaron mediante la aplicación de una solución de cal al 1 % durante 24 h; se lavaron con agua destilada estéril y se mantuvieron en la oscuridad dentro de un recipiente de 20 l tapado con hule negro; después de 48 h se pasaron a las charolas correspondientes a cada tratamiento.

Microorganismos y condiciones de cultivo

Las levaduras *D. hansenii* var. Fabry DhfBCS002 (t1); *Y. lipolytica* YIBCS002 (t2); *C. pseudointermedia* (t3) e *Y. lipolytica* var. BCS (t4) fueron obtenidas de la colección del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste; estas fueron previamente identificadas por Ochoa³².

Cada una de las levaduras se mantuvo en 100 ml de medio M1-2, con la siguiente composición (g/l): D-glucosa (20), peptona (5) y extracto de levadura (2,5). El pH del medio se ajustó a 5,6 con HCl 1 M, y se incubó durante 24 h a 30 ± 2 °C con agitación continua, a 85 rpm. Para producir

el preinóculo, 20 ml de cultivo axénico de cada levadura se inocularon por separado en 80 ml de medio M1-2, que se incubó durante 24 h a $30 \pm 2^\circ\text{C}$ con agitación continua, a 85 rpm. Posteriormente, cada cultivo de levadura se adicionó a 900 ml de medio M1-2; esta incubación se efectuó durante 96 h en las condiciones antes mencionadas.

Condiciones experimentales de cultivo

Los experimentos se realizaron en charolas de plástico ($22,5\text{ cm} \times 17,5\text{ cm} \times 3,5\text{ cm}$ de profundidad), utilizando una densidad de siembra de 200 g de semilla por charola. Las bandejas se apilaron verticalmente para mantener la humedad y se dejaron a temperatura ambiente. La irrigación del FVH de maíz se llevó a cabo cada 4 h con las diferentes suspensiones de levaduras a una concentración de 6000 UFC/ml. Esta irrigación se realizó durante parte del ciclo del cultivo, abarcando desde el estado de semilla hasta el de plántula de 5 cm (régimen 1) o desde el estado de plántula de 5 cm hasta el de planta 20 cm (régimen 2), o bien durante todo el cultivo (régimen 3), como se muestra en la figura 1.

Diseño experimental

Cada experimento se realizó por triplicado, donde una charola se consideró una réplica. Los tratamientos con levaduras incluidos fueron los siguientes: t1–*D. hansenii* var. Fabry DhfBCS002; t2–*Y. lipolytica* YIBCS002; t3–*C. pseudointermedia*; t4–*Y. lipolytica* var. BCS); se incluyó también un tratamiento con solución nutritiva Hoagland (t5–control), la cual presentó la siguiente formulación (en mg/l): 492 MgSO_4 ; 1,81 $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 2,86 H_3BO_3 ; 0,22 $\text{ZnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 0,078 $\text{CuSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,12 $\text{NaMoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; 1,8 CaCl_2 , 16 KSO_4 ; 0,5 K_2HPO_4 ; 100 KNO_3 ; 3 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ y 0,06 ml de una solución con 0,5% de FeSO_4 + 0,4% de ácido tartárico²⁵. Como muestra la figura 1, en el régimen 1, luego del tratamiento con levaduras en la etapa de semilla hasta plántula (5 cm de altura), se continuó el riego con la solución Hoagland, mientras que en el régimen 2 se regó con solución nutritiva Hoagland en etapa de semilla a plántula, para luego aplicar el riego con la suspensión de levadura hasta obtener una planta adulta de 20 cm. El riego con solución nutritiva Hoagland desde semilla hasta planta adulta (20 cm de altura) fue usado como control negativo. El experimento se repitió 2 veces, lo que da un total de 6 réplicas por tratamiento.

Análisis nutricional final del forraje

Cuando el forraje alcanzó una altura de 20 cm, se tomó una muestra de 1 g para determinar su calidad nutricional de acuerdo a las metodologías señaladas por la Asociación de Química Analítica (AOAC, por sus siglas en inglés)³.

El contenido de proteína cruda fue evaluado mediante el método de Kjeldhal, de acuerdo a la metodología descrita por Chow *et al.*¹¹, en un digestor Foss Kjeltac 2300 (FOSS analytical, Slangerupgade, Dinamarca). Se mezclaron 10 g de sulfato de potasio (V000151, Sigma Aldrich, St. Louis, MO, EE. UU.) con 0,7 g de óxido de mercurio (II) (203793, Sigma Aldrich) y 20 ml de ácido sulfúrico (320501,

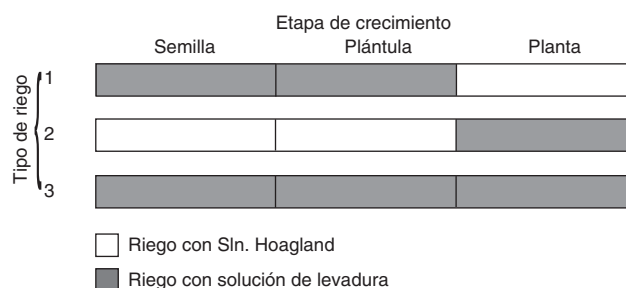


Figura 1 Regímenes de irrigación empleados para evaluar el efecto de levaduras sobre el contenido nutricional del forraje verde hidropónico de maíz.

Sigma Aldrich) con 1 g de material vegetal; dicha mezcla se calentó a ebullición hasta clarificar la muestra. Una vez clarificada la muestra se dejó en ebullición durante 30 min, posteriormente se dejó enfriar a temperatura ambiente y se agregaron 90 ml de agua desionizada. Se añadieron 25 ml de solución de sulfato de sodio (239313, Sigma Aldrich) al 4%, lo que permitió la formación de 2 capas visibles. Luego se colectaron por destilación 50 ml de la mezcla y se determinó por titulación la cantidad de amonio presente en dicha alícuota, usando como solución estándar ácido clorhídrico 0,1 N (84415, Sigma Aldrich).

El contenido de energía bruta, definido como la cantidad de energía liberada como calor (en kcal/g) cuando el alimento es quemado por completo³, fue determinado en un calorímetro Parr 1261 (Moline, Illinois, EE. UU.). La determinación del porcentaje de lípidos en las muestras de FVH se llevó a cabo mediante el método de Soxhlet³. Para esto, los lípidos fueron extraídos aplicando éter de petróleo (184519, Sigma Aldrich) y evaluados como porcentaje del peso después de evaporar el solvente, mediante el uso de un sistema Soxtec 2050 (FOSS analytical). Por su parte, los porcentajes de humedad y de cenizas se determinaron, respectivamente, mediante el secado y el calcinado de la muestra en un horno rotativo Polin Rotodrago6080 (Verona, Italia).

Mediante espectrofotometría de absorción atómica en un equipo Shimadzu HIC6A (Shimadzu, Kyoto, Japón) se determinó el contenido de electrolitos como calcio, magnesio, potasio, sodio, cloro y sulfatos.

Análisis estadístico

El efecto de los tratamientos sobre las variables de respuesta estudiadas se analizó utilizando un modelo lineal general a través del procedimiento GLM de SAS (2004). Antes de realizar dicho análisis estadístico, los porcentajes fueron transformados a valores de arcoseno para su aproximación a una distribución normal⁴². La comparación de medias se realizó mediante una prueba de Tukey utilizando el software estadístico Minitab® 17.1.0 (2014).

Resultados y discusión

Efecto del riego con suspensión de levaduras sobre el contenido nutricional final del FVH

Independientemente de la levadura aplicada, así como de la etapa de crecimiento del FVH de maíz en la que fueron

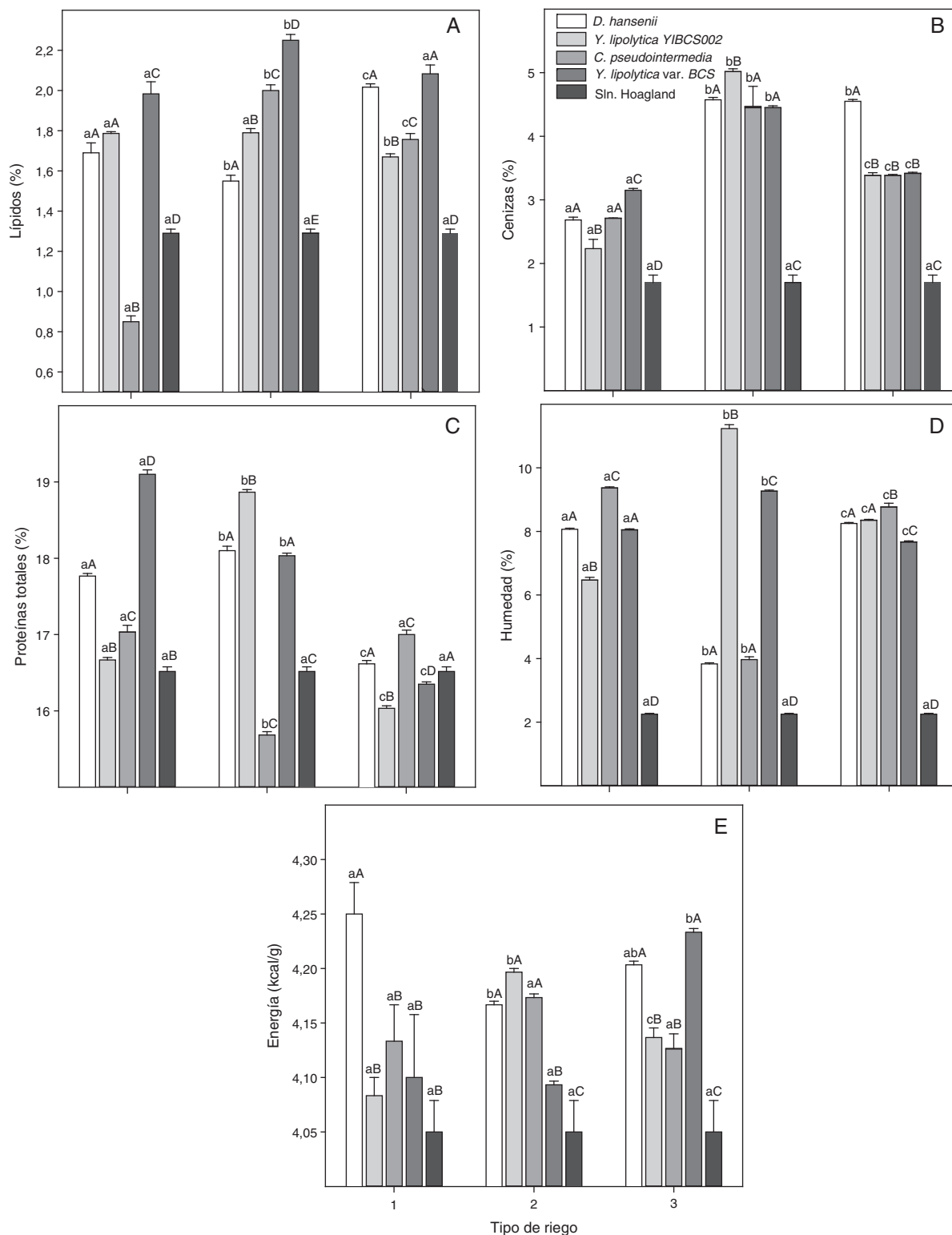


Figura 2 Efecto de levaduras sobre el contenido de lípidos (A), de cenizas (B), de proteínas totales (C), de humedad (D) y de energía (E), en el forraje verde hidropónico de maíz sometido a diferentes regímenes de irrigación. Las letras mayúsculas indican diferencias significativas entre los tratamientos, mientras que las letras minúsculas indican diferencias significativas entre las etapas de crecimiento (análisis estadístico mediante GLM seguido por una prueba de Tukey, $\alpha = 0,05$).

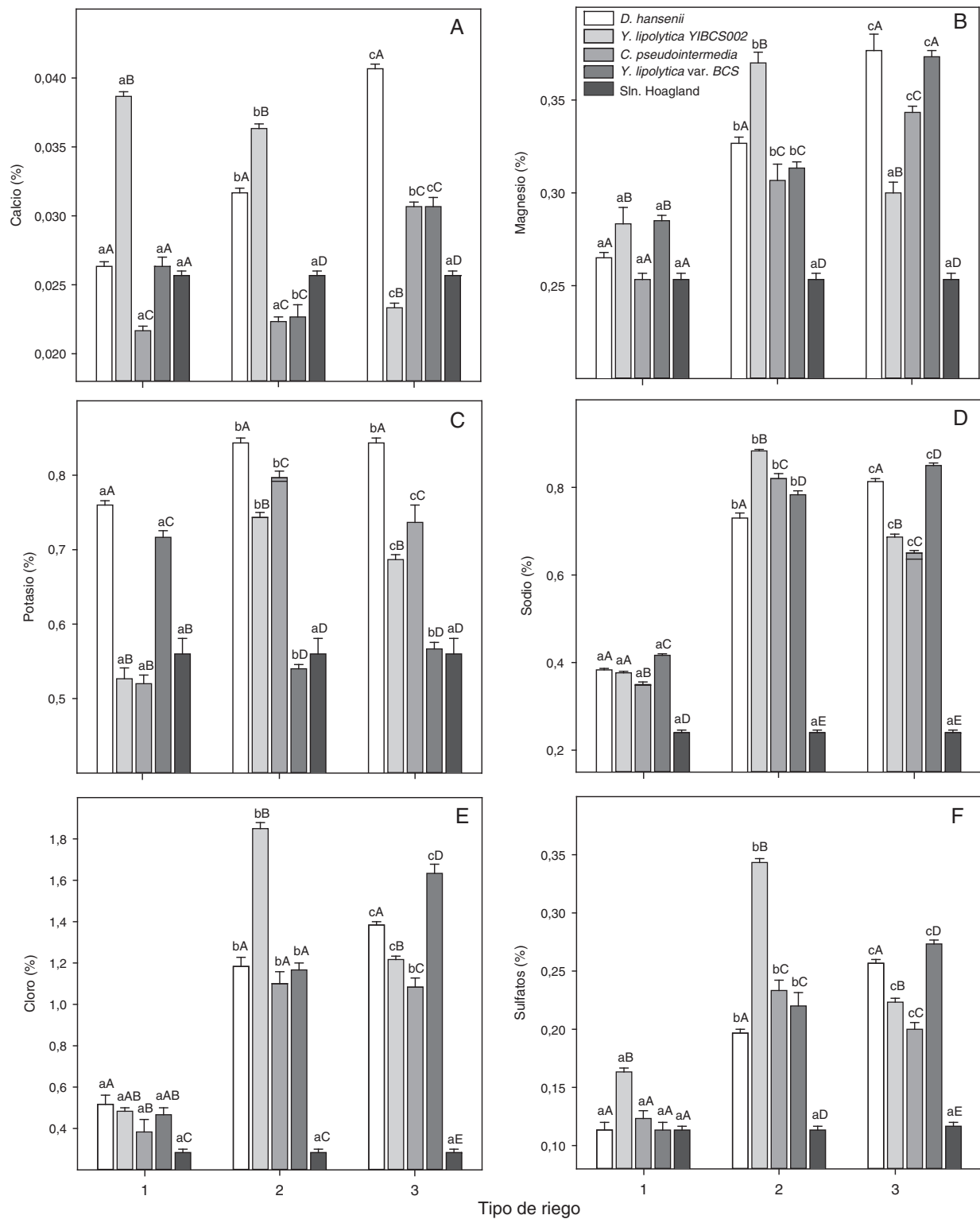


Figura 3 Efecto de levaduras sobre el contenido de calcio (A), magnesio (B), potasio (C), sodio (D), cloro (E) y sulfatos (F) en el forraje verde hidropónico de maíz sometido a diferentes regímenes de irrigación. Las letras mayúsculas indican diferencias significativas entre los tratamientos, mientras que las letras minúsculas indican diferencias significativas entre etapas de crecimiento (análisis estadístico mediante GLM seguido por una prueba de Tukey, $\alpha = 0,05$).

aplicadas, en los tratamientos con levaduras se observó un incremento significativo ($p < 0,05$) de todos los parámetros nutricionales evaluados (figs. 2 y 3). Los contenidos de humedad, de cenizas y de proteínas totales del forraje fueron los que más se incrementaron: un 7%, un 1,7% y un 1,4% en promedio, respectivamente (figs. 2b, c, d). Otras variables nutricionales como lípidos, sulfato, magnesio y calcio mostraron un incremento promedio más bajo, de un 0,8%, un 0,1%, un 0,09% y un 0,008%, respectivamente, cuando el FVM fue irrigado con las levaduras (figs. 2a, fig. 3a, b, f). Sin embargo, las concentraciones de estos nutrientes fueron significativamente mayores ($p < 0,05$) que las encontradas en el forraje irrigado con solución Hoagland (figs. 2 y 3).

Se ha reportado el potencial de diversas levaduras para promover el crecimiento de plantas mediante diferentes mecanismos^{1,31}. Dentro de estos mecanismos, la producción de compuestos como ácido indol-3-acético y otros ácidos orgánicos, así como de giberelinas, putrescina y cadaverina se ha vinculado con la capacidad de incrementar el contenido de lípidos, proteínas, hidratos de carbono y minerales en diversos cultivos de interés comercial^{5,46}. La producción de compuestos con mecanismos de promoción de crecimiento en plantas explicaría el incremento en los valores nutricionales del forraje.

En una publicación reciente, Loomis *et al.* mencionan que el forraje con porcentajes de proteína cruda superiores al 16% es considerado un forraje de calidad²⁴. En el presente estudio, todos los tratamientos regados con las suspensiones de levaduras alcanzaron un contenido de proteína cruda del 19% (fig. 2c). La importancia de las proteínas en el forraje recae especialmente durante la lactancia y el crecimiento de rumiantes jóvenes, donde las proteínas son el principal nutriente implicado en el desarrollo del ganado²⁹. Por otro lado, el contenido de energía bruta en el forraje fue significativamente mayor ($p < 0,05$) cuando se irrigó con levaduras que cuando se aplicó solo solución Hoagland (fig. 2e). Esto se debe a que el contenido de proteína está relacionado con el contenido energético para el ganado²⁶.

La irrigación con levaduras generó un incremento en el contenido de humedad del forraje del 7% (fig. 2d). Se ha observado que la cantidad de leche producida por el ganado lechero se relaciona con la humedad en el forraje⁴³; así también, se reporta que el agua requerida para el mantenimiento del ganado usualmente no es provista en su totalidad por el forraje, por ello se vuelven necesarias las fuentes de agua externas, sobre todo en zonas semiáridas o con climas adversos²⁹.

De igual manera, los porcentajes de lípidos y de cenizas fueron mayores en los tratamientos irrigados con la suspensión de levaduras ($p < 0,05$) que en el irrigado con solución Hoagland (fig. 2a, b). El incremento en parámetros nutricionales como lípidos y cenizas influye directamente en la digestibilidad del FVH, la cual se encuentra dada por su contenido químico y dictamina la cantidad de nutrientes que serán aprovechados por el ganado¹⁹. Se ha determinado que forrajes con cantidades altas de lípidos tendrán altos coeficientes de digestibilidad y una mejor reabsorción de nutrientes, a diferencia de los forrajes con altos contenidos de cenizas y bajo contenido energético, los cuales presentan bajos coeficientes de digestibilidad¹⁹.

El contenido de electrolitos en el forraje fue también afectado por la irrigación con levaduras: se observó un

mayor efecto en compuestos como potasio, sodio y cloro (incrementos promedio de un 0,12%, un 0,38% y un 0,81%, respectivamente). Se ha descrito como una necesidad frecuente el suplementar la deficiencia de sodio en el alimento del ganado con sal común²⁸. En este estudio, los forrajes regados solo con solución Hoagland presentaron valores altos de estos electrolitos comparados con los valores promedio en forrajes reportados por Miller²⁸. Las ventajas del crecimiento de cultivos en sistemas hidropónicos han sido ampliamente documentadas y entre ellas destacan, principalmente, el uso eficiente del agua y la mayor captación de nutrientes, así como la eliminación de la restricción para el crecimiento de la raíz^{16,47}.

Efecto de la etapa de crecimiento del forraje en la que fueron aplicadas las suspensiones de levaduras sobre el contenido nutricional final de FVH de maíz

Independientemente de la etapa de crecimiento en la que fueron aplicadas las suspensiones de levaduras, se observó un incremento significativo ($p < 0,05$) de los valores nutricionales del FVH en el momento de su cosecha comparado con el forraje obtenido bajo riego constante con la solución nutritiva Hoagland (figs. 2 y 3). Sin embargo, cuando las levaduras fueron aplicadas a partir de la etapa de plántula se registraron los mayores contenidos de casi todos los electrolitos probados, a excepción del calcio (fig. 3), el cual presentó un comportamiento similar con todos los regímenes de riego.

Se ha descrito que la madurez del forraje está relacionada con el grado de digestibilidad del alimento. A medida que el forraje madura, el contenido de fibra (principalmente de celulosa y lignina) va en aumento mientras que el contenido de proteína decrece, disminuyendo de esta manera la digestibilidad del forraje³⁵. En este estudio, el contenido de proteína presente en el forraje cosechado se incrementó con la aplicación de las diferentes suspensiones de levaduras, lo que contrarrestaría el efecto adverso de la maduración sobre la digestibilidad del forraje.

Efecto de las diferentes levaduras probadas sobre el contenido nutricional final del FVH de maíz

Se han utilizado diversas estrategias para incrementar el contenido de nutrientes de cultivos de importancia agrícola generados en sistemas de hidroponía. En los últimos años ha surgido interés en conocer el potencial de diversas levaduras como microorganismos promotores de crecimiento vegetal^{1,13,14,30}, estas conforman hoy el grupo de las *plant growth promoting yeasts* o PGPY (por su sigla en inglés)²⁷. En el presente trabajo se evaluó el efecto de la aplicación de 4 levaduras (*D. hansenii* var. Fabry, *Y. lipolytica* YIBCS002, *Y. lipolytica* var. BCS y *C. pseudointermedia*) sobre el contenido nutricional final de FVH de maíz. Las cepas de levaduras correspondientes a la especie *Y. lipolytica* presentaron los mejores efectos sobre el contenido de lípidos, proteínas totales, humedad y energía (figs. 2a, c, d, e), así como de calcio, magnesio, sodio, cloro y sulfatos (fig. 3a, b, d, e, f), independientemente de la etapa de crecimiento del FVH en la que fueron aplicadas. Vassilev *et al.*⁴⁸ reportan que la aplicación de inoculantes a base de *Y. lipolytica* incrementó

el contenido de fósforo y peso seco de plantas de tomate debido a su capacidad para solubilizar compuestos de fosfatos, lo que representó un mayor aporte nutricional para la planta.

Los forrajes con mayor porcentaje de cenizas fueron aquellos obtenidos cuando se irrigó a partir de la etapa de plántula con la levadura *D. hansenii* ($4,55 \pm 0,05\%$) (fig. 2b). Además, los forrajes irrigados con esta levadura mostraron los niveles más altos de potasio, independientemente de la etapa de crecimiento del forraje en la que fue aplicada la suspensión de levadura (fig. 3c). La levadura *D. hansenii* es ampliamente reconocida por su actividad antagonista contra hongos patógenos^{10,12,33}. Asimismo, esta levadura tiene la capacidad de producir poliaminas como putrescina y cadaverina³⁷, compuestos que estimulan la división celular de la raíz y su crecimiento⁴⁵. La irrigación del FVH con esta levadura, al igual que con los otros géneros de levaduras, llevó a un incremento en variables como proteínas, lípidos, energía, humedad y minerales. Se ha indicado que las poliaminas producidas por esta levadura pueden actuar como reguladores de crecimiento en las plantas^{4,9}, lo que afectaría directamente a las concentraciones de proteínas, lípidos e hidratos de carbono.

Comparados con los forrajes irrigados solo con solución nutritiva Hoagland, los forrajes irrigados con la levadura *C. pseudointermedia* mostraron, al igual que aquellos irrigados con las otras levaduras, un incremento significativo ($p < 0,05$) de todos los compuestos evaluados. Sin embargo y a diferencia de lo observado con las cepas de *Y. lipolytica* y con *D. hansenii*, el efecto mostrado por el riego con *C. pseudointermedia* fue mayor cuando la levadura fue aplicada durante todo el proceso de cultivo que cuando fue aplicada solo durante las etapas de semilla a plántula (figs. 2 y 3). Se ha comunicado recientemente la promoción del crecimiento vegetal por levaduras del género *Candida*, debido a su capacidad para producir ácido indol-3-acético y ACC deaminasa¹. La irrigación con la levadura *C. pseudointermedia* mostró un incremento en todos los parámetros nutricionales analizados en el FVH. Como se mencionó, este género de levaduras tiene la capacidad de producir compuestos que han sido relacionados con el incremento de lípidos, de hidratos de carbono y de proteínas, así como con una mayor absorción de minerales o nutrientes por la planta¹, dato que corrobora los resultados obtenidos en este estudio.

Conclusiones

Este trabajo demostró que la aplicación de levaduras en forraje crecido en hidroponía induce un incremento en el contenido nutricional del FVH; esto indica un efecto promotor por parte de las levaduras probadas, que evita la disminución de la calidad nutricional del forraje causada por el proceso de maduración. Sin embargo, se requieren más investigaciones referidas a los posibles mecanismos de las levaduras que han demostrado afectar de manera positiva al desarrollo del forraje a base de maíz. Aun así, el potencial de estas levaduras podría ser aprovechado para la obtención de alimento de alto contenido nutricional en sistemas hidropónicos.

Responsabilidades éticas

Protección de personas y animales. Los autores declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

Confidencialidad de los datos. Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes

Derecho a la privacidad y consentimiento informado. Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Agradecimientos

El presente trabajo fue realizado con fondos otorgados por la Universidad Autónoma de Baja California Sur, así como del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Agradecemos al M.C. Manuel Moreno, del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, el apoyo técnico y la asesoría en la generación de las gráficas del presente trabajo.

Bibliografía

- Amprayn K, Rose MT, Kecskés M, Pereg L, Nguyen HT, Kennedy IR. Plant growth promoting characteristics of soil yeast (*Candida tropicalis* HY) and its effectiveness for promoting rice growth. *Appl Soil Ecol.* 2012;61:295–9.
- Asao T, Asaduzzaman M, Mondal MF, Tokura M, Adachi F, Ueno M, Kawaguchi M, Yano S, Ban T. Impact of reduced potassium nitrate concentrations in nutrient solution on the growth, yield and fruit quality of melon in hydroponics. *Sci Hortic-Amsterdam.* 2013;164:221–31.
- AOAC. Official methods of analysis. 13th ed. Washington, D.C.: Association of Official Analytical Chemistry; 1980. p.1108.
- Bashan Y, de-Bashan LE. How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth—a critical assessment. *Adv Agron.* 2010;108:77–137.
- Bashan Y, Holguin G, de-Bashan LE. *Azospirillum*-plant relationships: Physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). *Can J Microbiol.* 2004;50:521–77.
- Bewley JD. Seed germination and dormancy. *Plant Cell.* 1997;9:1055–66.
- Bhattacharyya PN, Jha DK. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Emergence in agriculture. *World J Microb Biot.* 2012;28:1327–50.
- Caruso G, Villari G, Melchionna G, Conti S. Effects of cultural cycles and nutrient solutions on plant growth, yield and fruit quality of alpine strawberry (*Fragaria vesca* L.) grown in hydroponics. *Sci Hortic-Amsterdam.* 2011;129:479–85.
- Cassán F, Maiale S, Masciarelli O, Vidal A, Luna V, Ruiz O. Cadaverine production by *Azospirillum brasilense* and its possible role in plant growth promotion and osmotic stress mitigation. *Eur J Soil Biol.* 2009;45:12–9.
- Chalutz E, Wilson CL. Postharvest biocontrol of green and blue mold and sour rot of citrus fruit by *Debaryomyces hansenii*. *Plant Dis.* 1990;74:134–7.
- Chow KW, Rumsey GL, Woldroup PW. Linear programming in fish diet formulation. En: Pillay TVR, editor. *Fish feed technology.* Rome Italy: FAO; 1980. p. 241.

12. Droby S, Wisniewski M, Macarasin D, Wilson C. Twenty years of postharvest biocontrol research: Is it time for a new paradigm? *Postharvest Biol Tec.* 2009;52:137–45.
13. El-Mehalawy AA, Hassanein NM, Khater HM, El-Din EAK, Youssef YA. Influence of maize root colonization by the rhizosphere actinomycetes and yeast fungi on plant growth and on the biological control of late wilt disease. *Int J Agric Biol.* 2004;6:599–605.
14. El-Tarabily KA, Sivasithamparam K. Potential of yeast as biocontrol agents of soil-borne fungal plant pathogens and as plant growth promoters. *Mycoscience.* 2006;47:25–35.
15. Falih AM, Wainwright M. Nitrification, S-oxidation and P-solubilization by the soil yeast *Williopsis californica* and *Sacharomyces cerevisiae*. *Mycol Res.* 1995;99:200–4.
16. Gibeau DM, Hulett J, Cramer GR, Seemann JR. Maximal biomass of *Arabidopsis thaliana* using a simple, low-maintenance hydroponic method and favorable environmental conditions. *Plant Physiol.* 1997;115:317–9.
17. Grant CA, Flaten DN, Tomasiewicz DJ, Sheppard SC. The importance of early season phosphorous nutrition. *Can J Plant Sci.* 2001;81:211–24.
18. Herrera AAM, Depablos ALA, López MR, Benezra SMA, de Álvarez L. 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-Fac Cien V.* 2007;17:372–9.
19. Hewitt DG. Biology: Nutrition. En: Hewitt DG, editor. *Biology and management of white-tailed deer.* 1th ed Boca Raton FL: CRC Press; 2011. p. 75–106.
20. Khoshgoftarmanesh AH, Mohaghegh P, Sharifnabi B, Shirvani M, Khalili B. Silicon nutrition and *Phytophthora drechsleri* infection effects on growth and mineral nutrients concentration, uptake and relative translocation in hydroponic-grown cucumber. *J Plant Nutr.* 2012;35:1168–79.
21. Kim H-J, Kim W-K, Roh M-Y, Kang C-I, Park J-M, Sudduth KA. Automated sensing of hydroponic macronutrients using a computer-controlled system with an array of ion-selective electrodes. *Comput Electron Agr.* 2013;93:46–54.
22. Leontovich VP, Bobro MA. Technology of continuous growing of Hydroponic fodder. *Russ Agricul Sci.* 2007;33:239–41.
23. Lin K-H, Huang M-Y, Huang W-D, Hsu M-H, Yang Z-W, Yang C-M. The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *capitata*). *Sci Hortic-Amsterdam.* 2013;150:86–91.
24. Loomis EC. Feeding. En: Phillips RL, Glenn J, Dally M, Filkins M, van Liew D, Lane B, editors. *A handbook for raising small numbers of sheep.* 3th ed. Oakland Ca: Agricultural and natural resources communication services; 2002. p. 34–8.
25. Lopez BR, Tinoco-Ojanguren C, Bacilio M, Mendoza A, Bashan Y. Endophytic bacteria of the rock-dwelling cactus *Mammillaria fraileana* affect plant growth and mobilization of elements from rocks. *Environ Exp Bot.* 2012;81:26–36.
26. López S, Dijkstra J, France J. Prediction of energy supply in ruminants, with emphasis on forages. En: Givens DI, Owen E, Axford RFE, Omed HM, editores. *Forage evaluation in ruminant nutrition.* 1th ed London UK: CABI Publishing; 2002. p. 63–94.
27. Medina A, Vassileva M, Caravaca F, Roldán A, Azcón R. Improvement of soil characteristics and growth of *Dorycnium pentaphyllum* by amendment with agrowastes and inoculation with AM fungi and/or the yeast *Yarrowia lipolytica*. *Chemosphere.* 2004;56:449–56.
28. Miller WJ. Dairy cattle feeding and nutrition. 1th ed New York US: Academic Press Inc; 1979. p. 74–180.
29. Minson DJ, editor. 1990. Forage in ruminant nutrition. Academic Press. 1990 [on-line] [consultado 28 Ene 2015]. Disponible en: <https://books.google.es/books?isbn=0323147984>.
30. Nassar AH, El-Tarabily KA, Sivasithamparam K. Promotion of plant growth by an auxin-producing isolate of yeast *Williopsis saturnus* endophytic in maize (*Zea mays* L.) roots. *Biol Fert Soils.* 2005;42:97–108.
31. Nutaratat P, Srisuk N, Arunrattiy A, Limtong S. Plant growth-promoting traits of epiphytic and endophytic yeasts isolated from rice and sugar cane leaves in Thailand. *Fungal Biol-UK.* 2014;118:683–94.
32. Ochoa JLO. Establecimiento de la colección de levaduras marinas de México. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. Bases de datos SNIB2010. CONABIO proyecto n.º V020. México, D.F.
33. Payne C, Bruce A. The yeast *Debaryomyces hansenii* as a short-term biological control agent against fungal spoilage of sawn *Pinus sylvestris* timber. *Biol Control.* 2001;22:22–8.
34. Pérez LS, Esparza RJR, Preciado RP, Álvarez RVdeP, Meza VJA, Velázquez MJR, Murillo OM. Rendimiento, calidad nutricional, contenido fenólico y capacidad antioxidante de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*) producido en invernadero bajo fertilización orgánica. *Interciencia.* 2012;37:215–20.
35. Perry TW. Beef cattle feeding and nutrition. 1th ed New York US: Academic Press; 1980. p. 89–94.
36. Radzki W, Gutierrez-Mañero FJ, Algar E, Lucas-García JA, García-Villaraco A, Ramos-Solano B. Bacterial siderophores efficiently provide iron to iron-starved tomato plants in hydroponics culture. *Antonie Van Leeuwenhoek.* 2013;104:321–30.
37. Reyes-Becerril M, Esteban MA, Tovar-Ramírez D, Ascencio-Valle F. Polyamine determination in different strains of the yeast *Debaryomyces hansenii* by high pressure liquid chromatography. *Food Chem.* 2011;127:1862–5.
38. Ruis-Ruiz FX, Andrade FJ, Riu J, Ruis FX. Computer-operated analytical platform for the determination of nutrients in hydroponic systems. *Food Chem.* 2014;147:92–7.
39. Sansone G, Rezza I, Calvente V, Benuzzi D, Sanz de Tosetti MI. Control of *Botrytis cinerea* strains resistant to iprodione in apple with rhodotorulic acid and yeasts. *Postharvest Biol Tec.* 2005;35:245–51.
40. Seawright DE, Stickney RR, Walker RB. Nutrient dynamics in integrated aquaculture–hydroponics systems. *Aquaculture.* 1998;160:215–37.
41. Soto MAC, Juárez-Reyes AS, Rivera-Ahumada JA, Guerrero-Cervantes M, Ramírez-Lozano RG, Barragán HB. Producción de biomasa y valor nutricional del forraje verde hidropónico de trigo y avena. *Interciencia.* 2012;37:906–13.
42. Steel RG, Torrie JH. *Bioestadística: principios y procedimientos.* 2.ª ed Bogotá: MacGraw Hill; 1992. p. 228, 514, 580, 581.
43. Storry JE. The effect of dietary fat on milk composition. En: Haresing W, Cole DJA, editores. *Recent developments in ruminant nutrition 2.* Nottingham UK: Butterworths; 1988. p. 111–41.
44. Talitha T, Divol B. Investigating the proteins released by yeast in synthetic wine fermentation. *Int J Food Microbiol.* 2014;171:108–18.
45. Tang W, Newton RJ. Polyamines promote root elongation and growth by increasing root cell division in regenerated Virginia pine (*Pinus virginiana* Mill.) plantlets. *Plant Cell Rep.* 2005;24:581–9.
46. Tate JJ, Gutierrez-Wing MT, Rusch KA, Benton MG. The effects of plant growth substances and mixed cultures on growth and metabolite production of green algae *Chlorella* sp.: A review. *J Plant Growth Regul.* 2013;32:417–28.
47. Tocquin P, Corbesier L, Havelange A, Pieltain A, Kurtem E, Bernier G, Périlleux C. A novel high efficiency, low maintenance, hydroponic system for synchronous growth and flowering of *Arabidopsis thaliana*. *BMC Plant Biology.* 2003;3:1–10.
48. Vassilev N, Vassileva M, Azcon R, Medina A. Application of free and Ca-alginate-entrapped *Glomus deserticola* and

- Yarrowia lipolytica* in soil-plant system. J Biotechnol. 2001;91:237–42.
49. Vassileva M, Azcon R, Barea J-M, Vassilev N. Rock phosphate solubilization by free and encapsulated cells of *Yarrowia lipolytica*. Process Biochem. 2000;35:693–7.
 50. Vessey JK. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant Soil. 2003;255:571–86.
 51. Xin G, Glawe D, Doty SL. Characterization of three endophytic, indole-3-acetic acid producing yeasts occurring in *Populus* trees. Mycol Res. 2009;113:973–80.